

ESTUDO DA DETERIORAÇÃO DA PEDRA NA IGREJA DE PAÇO DE SOUSA – PROPOSTA DE TRATAMENTO

FREDERICO SANTOS CARDOSO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM MATERIAIS E PROCESSOS DE
CONSTRUÇÃO**

Orientador: Professor Doutor Arlindo Begonha

FEVEREIRO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Professor Doutor Arlindo Begonha pelo seu empenho, tempo disponibilizado, paciência, sabedoria e perseverança na concretização desta dissertação.

À paróquia da vila de Paço de Sousa, nomeadamente ao Senhor Padre António Alves, pela recepção e disponibilidade para trabalhos de campo.

À Senhora Dr^a. Daniela Silva do Centro de Materiais da Universidade do Porto, pelo apoio prestado nas análises por microscopia electrónica de varrimento.

Ao Instituto Português do Património Arquitectónico, pela sugestão do monumento a estudar.

A todas as pessoas da Secção de Materiais e Processos de Construção da Faculdade de Engenharia que disponibilizaram os meios necessários à realização deste trabalho.

À minha família pela e apoio e paciência demonstrado ao longo de todo este trabalho.

RESUMO

A presente dissertação concerne o tema da deterioração da pedra de granito na Igreja de Paço de Sousa. O trabalho inicia-se com uma breve descrição do monumento, enquadrando-o no tempo e referindo os acontecimentos históricos e as intervenções mais significativas realizadas no mesmo.

No local, efectuaram-se várias cartografias litológicas e de deteriorações da pedra com grande pormenor. Identificaram-se os diversos tipos de deteriorações e recolheram trinta e duas amostras em distintos locais do exterior e do interior do monumento.

Caracterizaram-se os principais tipos de rochas graníticas empregues na igreja, recorrendo a uma análise macroscópica dos mesmos e ao ensaio do porosímetro de mercúrio com o propósito de determinar as características do meio poroso do aplito com turmalina, rocha mais utilizada no portal Oeste e em pedras trabalhadas. Procedeu-se à comparação dos resultados obtidos com os publicados por diversos autores em monumentos graníticos portugueses.

Dezanove amostras dos diversos tipos de deteriorações foram estudadas por microscopia electrónica de varrimento com o objectivo de identificar os minerais constituintes das rochas graníticas e os minerais de sais solúveis responsáveis pela génese das deteriorações de modo a compreender os mecanismos de degradação da pedra na igreja.

Os estudos realizados permitiram efectuar o diagnóstico do estado de conservação da pedra, possibilitando a elaboração de uma proposta que inclui as técnicas e os produtos de limpeza, conservação e tratamento da pedra a recomendar em futuros trabalhos de intervenção na Igreja de Paço de Sousa.

,

PALAVRAS CHAVES: granito, cartografia das litologias / deteriorações, deteriorações da pedra, minerais de sais solúveis, porometria

ABSTRACT

This work concerns the study of granite deterioration in the Paço de Sousa Church. It includes a brief description of the monument, the most significant modifications, events and interventions that it has been submitted.

Several detailed lithological mappings and the correspondent deteriorations mappings were carried out in three different locations. Distinct stone deteriorations were identified and thirty two samples were collected in different areas of the church.

The most important types of granitic rocks that have been applied in the monument were macroscopically characterized and the porous network of the aplite with turmaline, the most used rock in the Western portal and in worked stones, was studied recurring to the mercury porosimetry test. These results were compared with those published by several authors in papers related with the deterioration processes in Portuguese granitic monuments.

Nineteen samples involving different deteriorations and locations in the monument were studied by scanning electron microscopy with the purpose of identifying the component minerals of the granitic rocks and the minerals of soluble salts responsible for the genesis of the degradations in order to understand the deterioration mechanisms of the stones in the church.

The studies and tests carried out permitted the diagnosis of the state of conservation of the granite allowing the assessment of a proposal that includes the techniques and cleaning, conservation and treatment products to be implemented and applied in the stones in a future intervention in the Paço de Sousa Church.

KEYWORDS: granite, mapping of the lithologies / deteriorations, stone deteriorations, minerals of soluble salts, porosimetry

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO

1

1. CONTEXTO HISTÓRICO DO MOSTEIRO DE PAÇO DE SOUSA	4
2. CARACTERIZAÇÃO ARQUITECTÓNICA DO MOSTEIRO DE PAÇO DE SOUSA	5
3. INTERVENÇÕES REALIZADAS	7

2. AMOSTRAGEM E METODOLOGIA

15

1. AMOSTRAGEM	15
2. METODOLOGIA	20

3. ESTUDO DOS GRANITOS E CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA, LOCALIZAÇÃO E CARTOGRAFIA DAS DETERIORAÇÕES

23

1. GRANITOS DA IGREJA DE PAÇO DE SOUSA	23
1.1. MACROSCOPIA DOS GRANITOS DA IGREJA DE PAÇO DE SOUSA	23
1.2. CARTOGRAFIAS LITOLÓGICAS	26
1.3. POROMETRIA DO APLITO COM TURMALINA	28
2. CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA DAS DETERIORAÇÕES	34
2.1. EXTERIOR DO MONUMENTO	34
2.1.1. DESAGREGAÇÃO GRANULAR	34
2.1.2. PLACAS	39
2.1.3. PLAQUETAS	41
2.1.4. EFLORESCÊNCIAS PULVERULENTAS	41
2.1.5. COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA	42
2.1.6. SUJIDADE	44
2.1.7. JUNTAS ABERTAS E FENDAS	44
2.2. INTERIOR DO MONUMENTO	45

4. ESTUDO MINERALÓGICO DAS DETERIORAÇÕES DA PERDRA	51
1. DESAGREGAÇÃO GRANULAR.....	54
1.1. EXTERIOR – PORTAL OESTE	54
1.2. INTERIOR – PAREDE NORTE DA CAPELA-MOR	63
2. EFLORESCÊNCIAS PULVERULENTAS	69
2.1 EXTERIOR – PORTAL OESTE.....	69
2.2 INTERIOR – PAREDE NORTE DA CAPELA-MOR	73
3. PLACAS.....	77
4. FILMES DE TONS AMARELO ALARANJADOS	78
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	87
 5. CONCLUSÕES	 91
 6. PROPOSTA DE TRATAMENTO.....	 93
 BIBLIOGRAFIA	 97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Fachada principal da igreja orientada para Oeste.....	3
Figura 1.2 – Localização do Mosteiro de Paço de Sousa	3
Figura 1.3 – Ribeiro de Gamuz	4
Figura 1.4 – Túmulo de Egas Moniz	5
Figura 1.5 – Planta da Igreja de Paço de Sousa.....	6
Figura 1.6 – Aspecto do claustro seiscentista.....	7
Figura 1.7 – Danos provocados pelo incêndio de 9 de Março de 1927 (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939)	8
Figura 1.8 – Figura do apóstolo S. Pedro	8
Figura 1.9 – Aspecto da fachada Sul durante (a) e após (b) a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939).....	9
Figura 1.10 – Portal Sul - Apeamento realizado durante a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939)	10
Figura 1.11 – Aspecto da fachada Sul durante (a) e após (b) a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939).....	10
Figura 1.12 – Demolição da torre sineira e pormenor do portal Oeste, ainda com os elementos barrocos, durante a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939)	11
Figura 1.13 – Vista geral do Mosteiro de Paço de Sousa antes (a) e após (b) a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939).....	12
Figura 1.14 – Fachada principal do Mosteiro de Paço de Sousa antes (a) e após (b) a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939)	13
Figura 1.15 – Nova torre sineira da Igreja de Paço de Sousa.....	14
Figura 2.1 – Localização das amostras obtidas no portal Oeste.....	19
Figura 2.2 – Localização das amostras obtidas no portal Sul	19
Figura 2.3 – Localização das amostras obtidas no interior da igreja.....	20
Figura 3.1 – Mapa geológico de Portugal (Pimentel, 1994)	24
Figura 3.2 – Aspecto macroscópico das rochas graníticas usadas na Igreja de Paço de Sousa.....	25
Figura 3.3 – Cartografia litológica do portal Oeste da Igreja de Paço de Sousa	26
Figura 3.4 – Cartografia litológica do paramento Sul da fachada Oeste da Igreja de Paço de Sousa	27
Figura 3.5 – Cartografia litológica do segundo colunelo da parede Norte da capela-mor	28
Figura 3.6 – Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra PS 13 de uma placa de aplito meteorizado	32

Figura 3.7 – Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra PS 25 de um fragmento de aplito meteorizado afectado por desagregação granular	32
Figura 3.8 – Cartografia das deteriorações da pedra do Portal Oeste	35
Figura 3.9 – Cartografia das deteriorações da pedra do paramento Sul da fachada Oeste.....	36
Figura 3.10 – Aspectos macroscópicos de pedras afectadas por desagregação granular no portal Oeste	38
Figura 3.11 – Aspectos macroscópicos de alvéolos em pedras com desagregação granular na Igreja de Paço de Sousa	39
Figura 3.12 – Aspectos macroscópicos de desagregação granular no portal Sul	39
Figura 3.13 – Aspectos macroscópicos de placas no portal Oeste – lado orientado a Sudoeste.....	40
Figura 3.14 – Eflorescências pulverulentas no portal Oeste	42
Figura 3.15 – Colonização biológica na Igreja de Paço de Sousa	43
Figura 3.16 – Sujidade numa pedra da base do paramento Sul do portal Oeste	44
Figura 3.17 – Juntas abertas no paramento Sul da fachada Oeste	45
Figura 3.18 – Fendas do portal e do contraforte Sul da fachada Oeste da Igreja de Paço de Sousa ..	45
Figura 3.19 – Manchas de humidade.....	46
Figura 3.20 – Gotas de água sobre a superfície do segundo colunelo da parede Norte da capela-mor.....	47
Figura 3.21 – Perda de material pétreo nos meios arcos junto à entrada da igreja	47
Figura 3.22 – Argamassa de cimento em juntas e sobre pedras de granito	48
Figura 3.23 – Manchas negras nas colunas	48
Figura 3.24 – Cartografia das deteriorações da pedra do segundo colunelo da parede Norte da capela-mor.....	49
Figura 3.25 – Eflorescências pulverulentas sobre o granito ao longo do limite com as juntas de argamassa de cimento e/ou sobre as próprias argamassas	50
Figura 3.26 – Eflorescências pulverulentas e desenvolvimento de algas no segundo colunelo da parede Norte da capela-mor	50
Figura 4.1 – Aspectos de meteorização em minerais constituintes do granito	51
Figura 4.2 – Cristalização do gesso (G) entre folhetos de moscovite (M)	52
Figura 4.3 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens e espectro de halite obtidos por MEV	55
Figura 4.4 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens de halite obtidas por MEV	56
Figura 4.5 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens e espectro de gesso obtidos por MEV.....	57

Figura 4.6 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens de gesso e da nitratite obtidas por MEV	58
Figura 4.7 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens e espectros de nitratite e fosfato de cálcio obtidos por MEV	59
Figura 4.8 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens e espectros de cinzas volantes obtidos por MEV.....	60
Figura 4.9 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens e espectro de agregado pulverulento de óxido de chumbo e carbonato de cálcio e imagens de diatomáceas obtidos por MEV	61
Figura 4.10 – Desagregação granular na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectro da nitratite obtidos por MEV	64
Figura 4.11 – Desagregação granular na parede Norte da capela-mor. Imagens de nitratite e do gesso obtidas por MEV	65
Figura 4.12 – Desagregação granular na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectro de gesso obtidos por MEV	66
Figura 4.13 – Desagregação granular na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectros do niter e da gaylussite obtidos por MEV	67
Figura 4.14 – Desagregação granular na parede Norte da capela-mor. Imagens da trona, gaylussite, halite, nitratite e fungos e espectro da trona obtidos por MEV	68
Figura 4.15 – Eflorescências pulverulentas no portal Oeste. Imagens e espectro do gesso obtidos por MEV	70
Figura 4.16 – Eflorescências pulverulentas no portal Oeste. Imagens de gesso obtidas por MEV	71
Figura 4.17 – Eflorescências pulverulentas no portal Oeste. Imagens e espectro de calcite obtidos por MEV	72
Figura 4.18 – Eflorescências pulverulentas na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectro de gesso obtidos por MEV	74
Figura 4.19 – Eflorescências pulverulentas na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectro de calcite obtidos por MEV	75
Figura 4.20 – Eflorescências pulverulentas na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectro de calcite e cloreto de chumbo obtidos por MEV	76
Figura 4.21 – Eflorescências pulverulentas na parede Norte da capela-mor. Imagens de colonização biológica obtidas por MEV	77
Figura 4.22 – Placas no portal Oeste. Imagens e espectro de gesso obtidos por MEV	79
Figura 4.23 – Placas no portal Oeste. Imagens de gesso obtidas por MEV	80
Figura 4.24 – Placas no portal Oeste. Imagens e espectros de halite e nitratite obtidos por MEV.....	81
Figura 4.25 – Placas no portal Oeste. Imagens do gesso, nitratite, halite e fungos obtidas por MEV.....	82
Figura 4.26 – Filmes amarelo alaranjados no portal Oeste. Imagens gerais e espectros globais obtidos por MEV	84

Figura 4.27 – Filmes amarelo alaranjados no portal Oeste. Imagens obtidas por MEV	85
Figura 4.28 – Filmes amarelo alaranjados no portal Oeste. Imagens obtidas por MEV	86

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Classificação e descrição das amostras recolhidas na Igreja de Paço de Sousa	16
Quadro 3.1 – Valores dos parâmetros obtidos no ensaio de porometria 2	29
Quadro 3.2 – Valores limite da porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) obtidos em granitos de duas micas e aplitos empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal	30
Quadro 3.3 – Valores limite da razão entre a microporosidade (N_{μ}) e a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) obtidos em granitos de duas micas e aplitos empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal	31
Quadro 3.4 – Valores limite dos diâmetros de acesso das principais famílias de poros de granitos de duas micas e aplitos usados em monumentos e edifícios do Norte de Portugal	33
Quadro 4.1 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV	54
Quadro 4.2 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de desagregação granular no portal Oeste	55
Quadro 4.3 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de desagregação granular na parede Norte da capela-mor	63
Quadro 4.4 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de eflorescências no portal Oeste	69
Quadro 4.5 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de eflorescências na parede Norte da capela-mor	73
Quadro 4.6 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de placas no portal Oeste	78
Quadro 4.7 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de placas no portal Oeste	83
Quadro 4.8 – Análises químicas semiquantitativas dos filmes amarelo alaranjados obtidas por MEV	87

INTRODUÇÃO

Desde cedo, o Homem teve necessidade de perpetuar determinados feitos marcantes na história dos povos, das cidades ou de uma família importante. A pedra foi sem dúvida o material de excelência utilizado na construção de edifícios e monumentos dada a sua abundância, propriedades mecânicas e decorativas e sobretudo pela sua durabilidade. Construções funerárias, templos, igrejas e catedrais, palácios e monumentos comemorativos de acontecimentos importantes foram construídos com um ou mais tipos de materiais pétreos de natureza por vezes muito diversificada.

Os calcários e arenitos, pela sua grande distribuição à superfície da Terra, foram os dois tipos de rochas mais empregues nas construções. Para além disso, são normalmente rochas relativamente brandas, fáceis de trabalhar pelos mestres pedreiros, permitindo a execução de peças ornamentais muito pormenorizadas e por vezes extremamente delicadas.

O mármore foi amplamente usado por diversos povos, nomeadamente Gregos e Romanos, em palácios e templos, estruturas simultaneamente duráveis e de grande sentido estético, estando muitas vezes associado a uma afirmação de poder económico, social ou político.

As rochas ígneas foram menos aplicadas na construção por serem menos frequentes à superfície do que as rochas sedimentares e por serem mais duras e difíceis de trabalhar. Os basaltos e traquitos empregaram-se principalmente nos templos e construções pré colombianas das civilizações Maia, Asteca e Inca e em arquipélagos de ilhas vulcânicas, designadamente os Açores, Madeira, Canárias e Cabo Verde. Na Europa, o granito foi empregue em regiões com extensos afloramentos deste tipo de rocha e muito distantes de pedreiras de calcários e ou arenitos.

A degradação de edifícios e monumentos ao longo do tempo tem resultado numa perda do Património Construído, por vezes irreversível.

Após a Revolução Industrial no século XVIII e principalmente no século XX, em particular após a segunda guerra mundial, o aumento do consumo e queima de combustíveis fósseis como o petróleo e seus derivados e o carvão, conduziu a um aumento substancial da poluição atmosférica.

A formação de ambientes muito ácidos em regiões urbanas e/ou industriais em resultado da poluição atmosférica mostrou ser extremamente prejudicial para a maioria dos monumentos construídos com rochas carbonatadas como calcários, arenitos calcários e mármore.

Os primeiros estudos sobre a deterioração da pedra em calcários, arenitos e mármore iniciaram-se na década de sessenta do século XX (Millot et al., 1967), mas foi sobretudo nas décadas de setenta e oitenta do mesmo século que se assistiu a um maior incremento destes estudos nos países mais industrializados da Europa, nomeadamente em Itália, França, Reino Unido, Alemanha, Suíça, Bélgica,

Dinamarca e Espanha (Millot e Jeannette, 1975, Beaucourt, 1975, Beaucourt e Jaton, 1975, Arnold, 1976, 1978, 1984, Fassina et al, 1976, Zehnder, 1979, Jeannette, 1980, 1981, 1982, Del Monte et al., 1981, Fritz e Jeannette, 1981, Fassina et al, 1982, Amoroso e Fassina, 1983, Del Monte et al., 1984a, 1984b, Zehnder e Arnold, 1984, 1988, 1989, Arnold e Kueng, 1985, Arnold e Zehnder, 1985, 1987, 1988, 1989, Groux, 1986, Del Monte e Sabbionni, 1987, Ordaz e Esbert, 1985, Camuffo, 1988, Camuffo et al., 1988, Roekens et al., 1988, Bromblet, 1989, Roekens e Van Grieken, 1989, Saaby et al., 1989, Tabasso, 1989) e também nos Estados Unidos da América (Feddema e Meierding, 1987) e Israel (Peleg et al., 1989).

Os estudos sobre a degradação das pedras graníticas nas edificações só apareceram um pouco mais tarde em consequência de vários factores. Os monumentos graníticos situam-se em zonas mais periféricas da Europa com menores recursos destinados à investigação científica como o Norte e Centro de Portugal, Irlanda, Bretanha, Galiza e região de Madrid. Os investigadores consideravam ainda que o granito era um material de construção eterno em virtude da sua elevada resistência à compressão e baixa porosidade.

Em Portugal, os primeiros trabalhos sobre a patologia da pedra surgiram na década de setenta e oitenta do século XX, incluindo a caracterização e mecanismos de formação dos diversos tipos de deteriorações, o diagnóstico do estado de conservação da pedra e técnicas e metodologias de manutenção, conservação protecção e reabilitação da pedra. (Castro, 1974, 1977, 1979a, 1979b, 1981, 1983, 1985, 1988, Delgado Rodrigues, 1978, 1991, Delgado Rodrigues e Gil Saraiva, 1985, Castro et al., 1985, 1987, 1988, 1990a, 1990b, 1991a, 1991b, Castro e Cravo, 1987, Castro e Delgado Rodrigues, 1987, 1989a, 1989b, Delgado Rodrigues e Castro, 1989, 1990, Aires-Barros, 1991).

No entanto, os estudos sobre a patologia da pedra em granitos tiveram maior impulso em finais da década de oitenta e principalmente na década de noventa em resultado das investigações desenvolvidas no âmbito dos projectos europeus STEP CT900101, CT900107, CT900110 que incidiram essencialmente sobre o diagnóstico do estado de conservação da pedra em monumentos e edifícios graníticos do Norte de Portugal (Sequeira Braga et al., 1993, Begonha e Sequeira Braga, 1993, 1994, 1995, 1996a, 1996b, 2000, Alves et al., 1993, Alves e Sequeira Braga, 1993, 1994, 1995, 1996, Begonha et al., 1994, Begonha et al., 1995, 1996, Sequeira Braga et al., 1996, Alves et al., 1996, Begonha, 1997, Alves, 1997), Sul de Portugal (Delgado Rodrigues, 1993a, 1993b, 1993c, Pinto, 1993, 1996, Schiavon et al., 1994, 1996, Delgado Rodrigues et al., 1996, Rosa, 1996), Galiza (Casal Porto, 1989, Casal Porto et al., 1989, Casal Porto et al., 1991, Casal Porto et al., 1992, Silva Hermo et al., 1994, Rivas Brea et al., 1994, Delgado Rodrigues et al., 1994, Silva Hermo et al., 1996a, Silva Hermo et al., 1996b), região de Madrid (Vicente et al., 1993, Vicente, 1996), Bretanha (Bernabé et al., 1995, Fort et al., 1995, Robert et al., 1996, Bernabé et al., 1996) e Irlanda (Cooper, 1989, 1993, 1994, Cooper et al., 1991, Haneef et al., 1991, Smith et al., 1993, O'Brien et al., 1993, Warke e Smith, 1994, Duffy e Perry, 1994, Jones et al., 1996, Young et al., 1996).

Mais recentemente, Teles e Begonha, 1999, Delgado Rodrigues, 2000, Begonha, 2000, 2001, 2002a, 2002b, 2002c, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d, 2004a, 2004b, 2005, 2006, Delgado Rodrigues e Costa, 2000, Oliveira, 2001, Ferreira, 2004, Moutinho, 2005, Fojo, 2006, Begonha e Fojo, 2006, Costa 2007, Costa Leite, 2008 realizaram diversos estudos sobre o diagnóstico do estado de conservação da pedra e/ou o tratamento da mesma em monumentos e edifícios graníticos portugueses.

A presente dissertação situa-se no âmbito da patologia dos granitos empregues no Mosteiro de Paço de Sousa (Figura 1.1), incluindo o diagnóstico do estado de conservação do granito, mecanismos de deterioração e proposta de intervenção no monumento.

A vila de Paço de Sousa fica situada no extenso Vale do Sousa. Pertence ao Concelho de Penafiel, distrito do Porto. É uma região fortemente marcada pelo seu relevo. O Mosteiro situa-se junto à residência paroquial e à casa do Gaiato (Figura 1.2) erguendo-se sobre o Ribeiro de Gamuz (Figura 1.3).



Figura 1.1 – Fachada principal da igreja orientada para Oeste

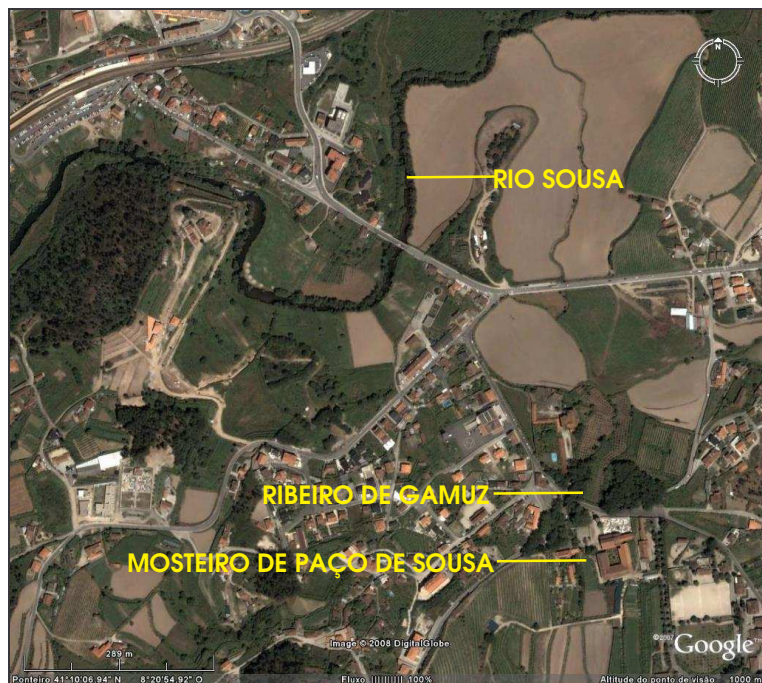


Figura 1.2 – Localização do Mosteiro de Paço de Sousa



Figura 1.3 – Ribeiro de Gamuz

1. CONTEXTO HISTÓRICO DO MOSTEIRO DE PAÇO DE SOUSA

A fundação do Mosteiro de Paço de Sousa deve-se a D. Trocosendo Guedas (Número 7 do Boletim Monumentos da Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939) também conhecido por D. Trutesendo Galindes (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1997), filho de Goido ou Gui segunda a publicação mais antiga ou ainda por Galindus Gonzalvis segundo a publicação mais recente, neto de Arnulfo também conhecido por D. Arnaldo de Baião e de D^a. Ermezenda Eriz, filha do Conde de Lugo, sendo bisneto de Gui, Duque de Espoleto e de D^a. Agiltrudes de Benavente. Arnulfo combateu ao lado de Afonso III, rei de Oviedo, filho de Pelágio.

O Mosteiro de Paço de Sousa, igreja matriz da vila, terá sido fundado em 998 (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939) ou em 956 (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1997), ignorando-se se a sua construção terá sido concluída antes do falecimento do fundador. Serviu de refúgio ao abade Radulfo aquando das invasões de Almançor (994).

Segundo o Número 7 do Boletim Monumentos da Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (1939), da igreja conventual erigida por Trocosendo Guedas não existe e *crê-se que nunca existiu* qualquer memória descritiva. Deveria ser de fábrica modesta, pois cerca de um século depois, em 1088, já se achava substituída por um novo templo mais espaçoso e de maior fausto arquitectónico, cuja sagração, realizada a 27 de Setembro desse ano pelo Arcebispo de Braga D. Pedro, antecessor de S. Geraldo, decorreu com grande solenidade. O mesmo documento, referindo o Livro Velho das Linhagens, refere que D. Pero, filho do fundador do mosteiro, terá fundado um Paço junto ao mosteiro.

D. Egas Moniz, Aio de D. Afonso Henriques, exerceu influência tutelar no grande cenóbio beneditino da Terra de Sousa. Além das benfeitorias, vários documentos comprovam-no como o padroeiro único. Foi sepultado em 1146 na igreja do Corporal, capela jazigo da família de Trocosendo Guedas, em túmulo com legenda e pedras adornadas de relevos referentes à ida à Corte de Leão (Figura 1.4).



Figura 1.4 – Túmulo de Egas Moniz

O túmulo de D. Egas Moniz foi sujeito ao longo dos séculos a diversas mudanças de local, profanando-o, mutilando-o e transformando-o. Em 1605, foi retirado da Corporal, mandada demolir pelo abade Fr. Martinho Golias, tendo sido colocado na capela-mor da igreja. Em 1741, o abade Fr. Manuel das Neves, desejando altear a capela-mor, decidiu desconjuntar a arca tumular de D. Egas Moniz. Recompuseram, cortaram e picaram muitas pedras, agrupando-as depois sem qualquer critério, ficando inclusivamente algumas invertidas. As pedras que sobejaram, foram transformadas no estreito tanque onde desde então se recolhe a fonte Agamus, a mais afamada do mosteiro. Em 1784, o abade Fr. Manuel de S. Tomaz viu-se obrigado a reconstruir a capela-mor. O sepulcro de D. Egas Moniz foi então removido para o lado esquerdo do corpo da igreja, onde repousa desde então (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939).

A 12 de Setembro de 1259, o Bispo do Porto D. Julião incorporou as freguesias de S. Martinho de Velhas, S. Lourenço e Santa Ovaia de Esmegilde na freguesia do mosteiro beneditino, com o título de Santa Maria do Corporal de Paço de Sousa. D. Frei João Álvares, Abade Comendatário de 1461 a 1484, com verdadeiro zelo apostólico restabeleceu o espírito monástico.

No dia 1 de Novembro de 1596, os beneditinos tomaram posse da paróquia da freguesia que passou a intitular-se Freguesia do Salvador de Paço de Sousa, por ser o Salvador a invocação do mosteiro e da igreja monástica. Em 1799, foi escrita a monografia do mosteiro por Frei António da Assunção Meireles, Cartorário-mor da Congregação de S. Bento e publicada em 1942 sob o título de Memórias do Mosteiro de Paço de Sousa & Índice dos Documentos do Arquivo.

A segunda invasão francesa, em 1809, causou alguns estragos no convento. A extinção do mosteiro deu-se em 1834. A freguesia de Paço de Sousa foi elevada à categoria de Vila a 20 de Junho de 1991.

2. CARACTERIZAÇÃO ARQUITECTÓNICA DO MOSTEIRO DE PAÇO DE SOUSA

A Igreja de Paço possui uma arquitectura religiosa românica e seiscentista (Figura 1.1). Tem planta cruciforme de três naves extensas e elevadas (Figura 1.5), sendo a central a mais alta com três tramos.

A nave central é iluminada por uma rosácea na fachada principal e por três frestas rectangulares com remate em arco. As naves laterais possuem também três janelas rectangulares com remate em arco, interiormente guarnecidas por colunelos. Possui um ábside comprido e rectangular de quatro tramos abobadados. As coberturas diferenciadas em telhados de duas águas e quatro na torre-lanterna do cruzeiro são todas de madeira. O portal axial Norte da fachada principal é de cinco arquivoltas em arco apontado, rodeado por friso com motivos geométricos, com capitéis de temas fitomórficos biselados, e tendo superiormente entre os contrafortes cornija ornada por modilhões figurando animais. O portal situado na fachada Sul é constituído por absidiolos rematados exteriormente por arcadas cegas em banda lombarda, apresentando frestas emolduradas com uma decoração de flores e esferas (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939, 1997).

O seu interior é constituído por naves separadas por grossos pilares de secção cruciforme, com sapatas circulares, dos quais arrancam longitudinalmente, arcos formeiros em arco apontado. Os pilares são compostos por colunas cilíndricas embebidas, com arestas boleadas como colunelos, apresentando capitéis decorados com temas fitomórficos. À direita do portal Norte, encontra-se o túmulo de Egas Moniz. A Sul da igreja, desenvolve-se o claustro tipicamente seiscentista composto por quatro lanços de sete tramos, de colunas toscano-dóricas e por arcos com nervuras (Figura 1.6). Na parede Sul, a porta colocada sensivelmente a meio do corpo da nave comunicando com o claustro, apresenta três arquivoltas de arco apontado, lisas e com arestas vivas sustentadas por três colunas cilíndricas com ábacos de decoração fitomórfica (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1997).

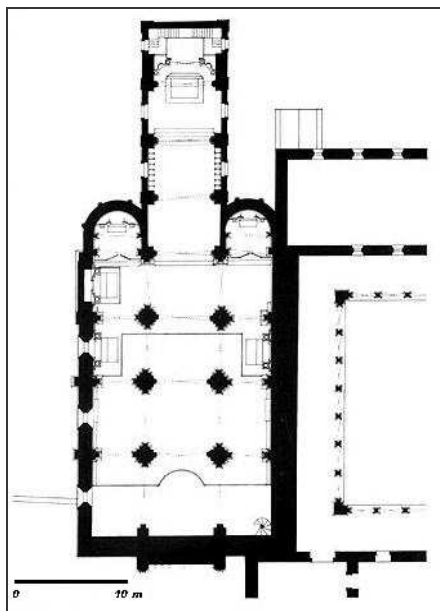


Figura 1.5 – Planta da Igreja de Paço de Sousa



Figura 1.6 – Aspecto do claustro seiscentista

Possui ainda como características particulares um transepto inscrito, uma torre-lanterna quadrangular, um cenotáfio historiado, uma tampa sepulcral com figuração de Abade, uma escultura de S. Pedro, um retábulo de talha barroca e um chafariz tardo-renascentista.

3. INTERVENÇÕES REALIZADAS

A igreja de Paço de Sousa sofreu inúmeras intervenções e modificações ao longo da sua história, submetendo-se sempre aos ideais e às teorias dos movimentos culturais da época.

O mosteiro foi sofrendo diversas e intensas alterações ao longo da sua história. De acordo com o número 7 do Boletim Monumentos da a Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (1939), o delírio barroco que se viveu no século XVIII levou a diversas e intensas alterações ornamentais de monumentos ao longo do país mas esta incongruência bárbara não foi certamente excedida ou sequer igualada, até hoje, em qualquer monumento nacional como no Mosteiro de Paço de Sousa. Transcrevem-se de seguida, do mesmo Boletim, algumas das características e o estado em que se encontrava o monumento antes da intervenção realizada na década de trinta do século XX, resultado de acontecimentos, intervenções e modificações associados à história da igreja.

Toda a parte exterior da Igreja, no lugar onde se erguia a torre ficou encoberta. Esta obra completou outra mais afrontosa; o entaipamento da fachada Sul por detrás da grossa parede que lhe haviam justaposto para sustentar a galeria do claustro e que levou a um brusco aumento da obscuridade do monumento. Na frontaria, numerosas mutilações desfiguraram as colunas, os capitéis e até as arquivoltas do admirável pórtico. Para além disso, faltavam completamente, no respaldo do seu coroamento, os cachorros que o guarneciam, todos de curiosa decoração zoomórfica. De facto, todos estes ornatos graciosos e expressivos foram arrancados para dar lugar a uma varanda então construída junto do edifício conventual. Acima, a grande rosácea parecia ter sido despedaçada, deixando apenas uma vidraça de vulgar caixilharia que ocupava todo o espaço que a perfuração deixou livre. Todas estas alterações efectuadas no Mosteiro de Paço de Sousa seguiram as teorias culturais da época barroca.

Outro acontecimento marcante na história da igreja foi o incêndio de 9 de Março de 1927 que provocou estragos importantes no corpo da igreja. Os telhados de madeira da nave foram quase na sua íntegra consumidos, salvando-se os telhados da capela-mor. A ala do claustro também foi bastante danificada tornando-se necessário demorados e minuciosos trabalhos de consolidação (Figura 1.7).

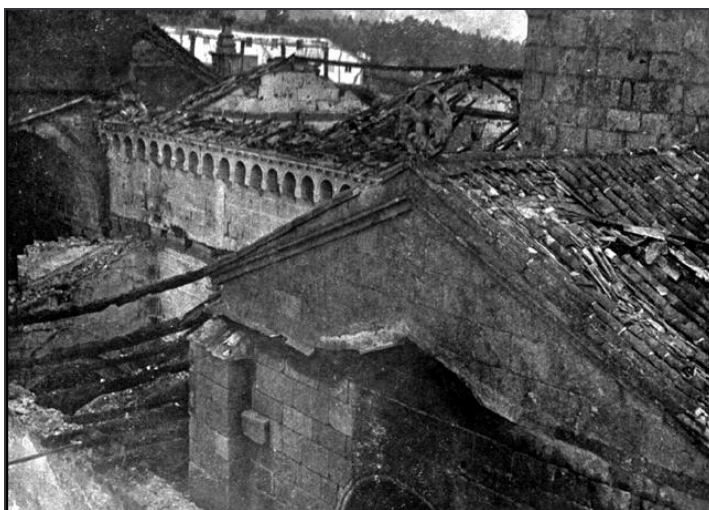


Figura 1.7 – Danos provocados pelo incêndio de 9 de Março de 1927 (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939)

Hoje, a igreja tem fácil acesso. Permitiu-o a demolição da parte do edifício conventual que obstruía o adro e o apeamento da segunda parede com que fora revestida a fachada Sul da igreja.

Na frontaria, junto ao pórtico principal, fora incrustado quase ao rés-do-chão, uma alta pedra onde se achava figurado o apóstolo S. Pedro, posteriormente removida para o interior (Figura 1.8).



Figura 1.8 – Figura do apóstolo S. Pedro

A intervenção levada a efeito pela Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais na década de trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939), introduziu profundas alterações no Mosteiro de Paço de Sousa e, em particular, na igreja, modificando a leitura de todo o conjunto monumental, tentando desta forma recuperar o valor românico original de outrora. Para isso, realizaram-se diversos apeamentos (Figuras 1.9 e 1.10), demolições (Figuras 1.11, e 1.12), consolidações, rebaixamentos, lajeamentos e restauros (Figuras 1.9 e 1.11) de vários elementos estruturais e de pormenores arquitectónicos, nomeadamente o apeamento da grande torre sineira (Figura 1.12) então existente na frontaria da igreja, corte, demolição e reparação da parte do antigo convento, apeamento das incrustações barrocas da fachada principal da igreja a fim de ficar descoberta a primitiva fachada, bem como o seu restauro.

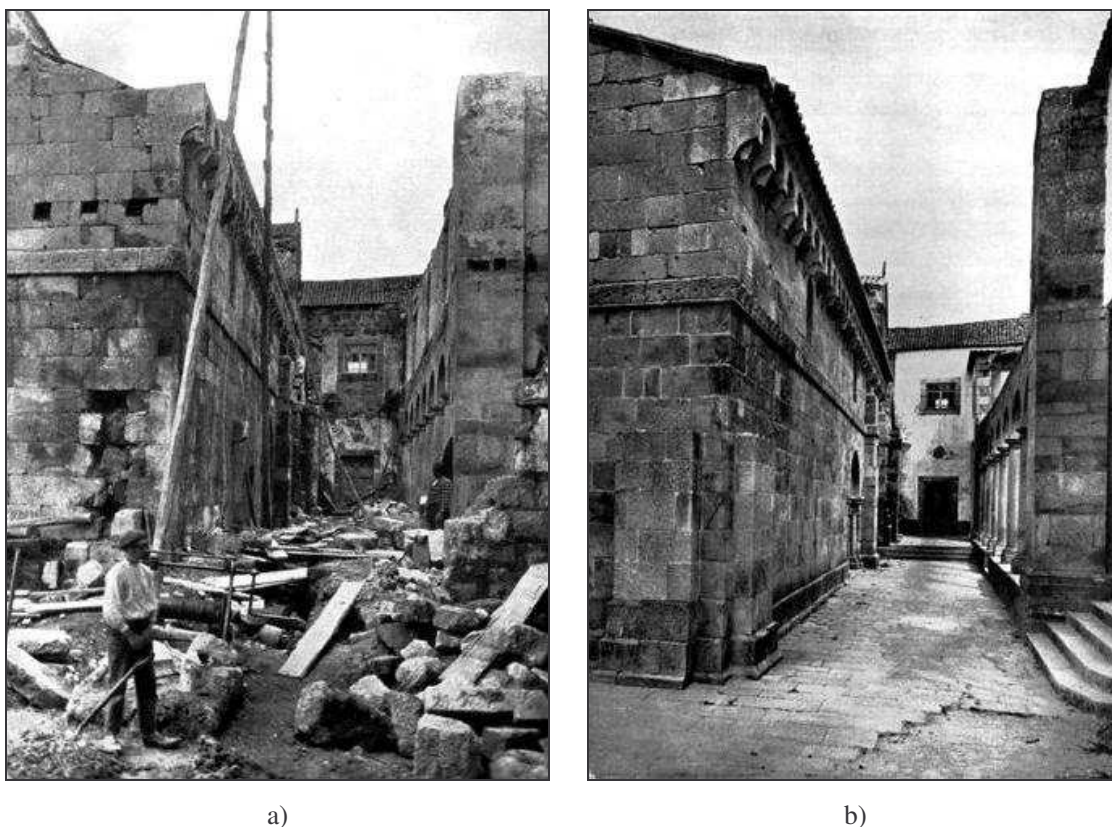


Figura 1.9 – Aspecto da fachada Sul durante (a) e após (b) a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939)

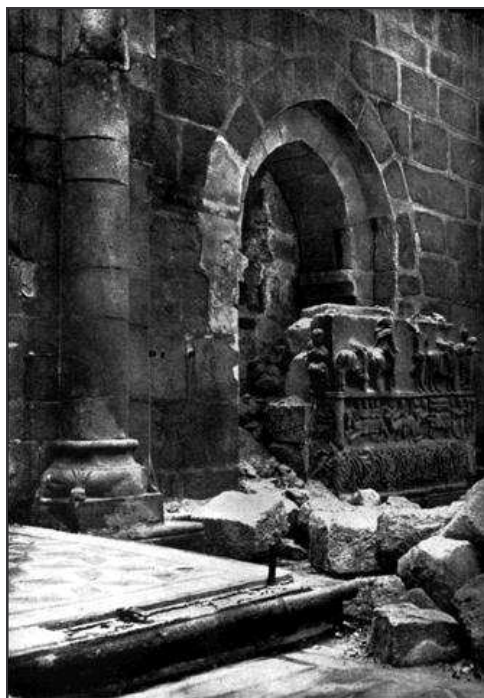
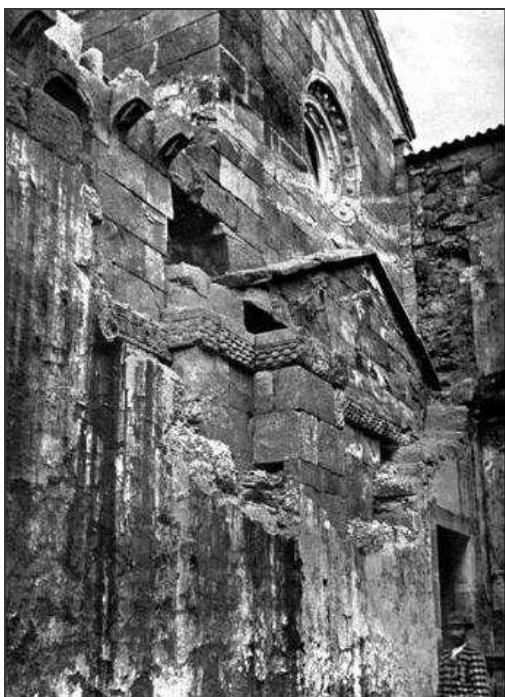


Figura 1.10 – Portal Sul – Apeamento realizado durante a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939)



a)



b)

Figura 1.11 – Aspecto da fachada Sul durante (a) e após (b) a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939)

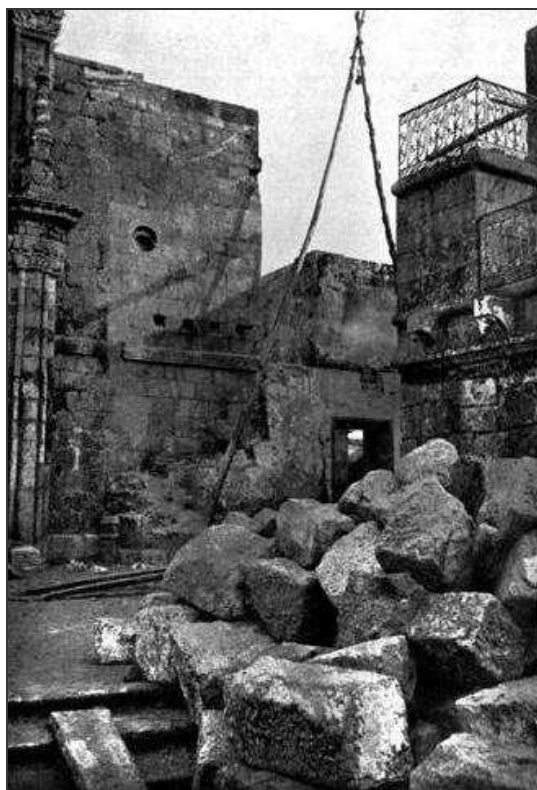


Figura 1.12 – Demolição da torre sineira e pormenor do portal Oeste, ainda com os elementos barrocos, durante a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939)

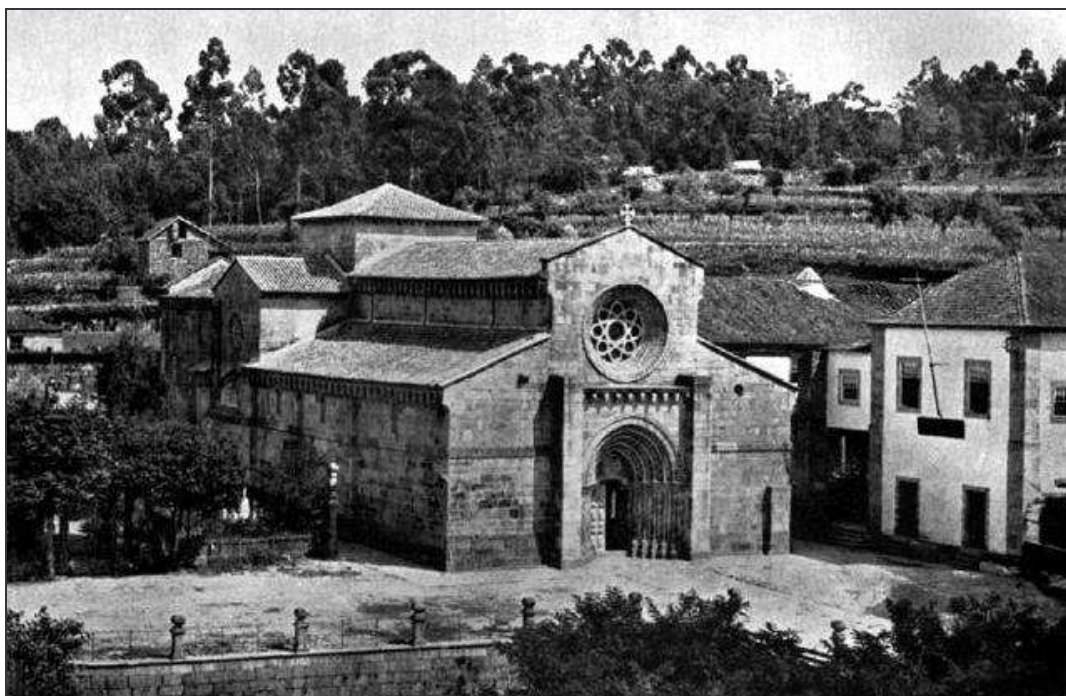
As Figuras 1.13 e 1.14 mostram as profundas alterações que o Mosteiro de Paço de Sousa sofreu após a intervenção da Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais na década de trinta do século XX.

Após o apeamento da antiga torre sineira, construiu-se uma nova afastada de alguns metros da igreja e à direita da mesma (Figura 1.15).

Posteriormente, a Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais realizou diversas intervenções no monumento, designadamente em 1954 o restauro do altar do Sagrado Coração de Jesus e consolidação da parede de suporte do mesmo, a reconstrução em 1960 do telhado, a reparação em 1967 de telhados, pintura de portas e consolidação de vitrais na sacristia, a reconstrução do telhado da sacristia em 1969, a reparação geral e ligeira das coberturas em 1971, 1976, 1980 e 1982, a reparação dos prejuízos causados pelo temporal em 1972 e a beneficiação da igreja e sacristia em 1987 (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1997).



a)



b)

Figura 1.13 – Vista geral do Mosteiro de Paço de Sousa antes (a) e após (b) a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939)



a)



b)

Figura 1.14 – Fachada principal do Mosteiro de Paço de Sousa antes (a) e após (b) a intervenção dos anos trinta do século XX (Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, 1939)



Figura 1.15 – Nova torre sineira da Igreja de Paço de Sousa

Após todos estes programas de restauro, seria imprudente afirmar que a igreja reconstituída actualmente e que resultou da intervenção dos anos trinta do século XX seja por certo a igreja edificada por Trocosendo Guedas, nem tão pouco a que, após cem anos, foi devidamente aumentada pela família do fundador.

No entanto, uma e outra com os seus legítimos títulos históricos, estéticos e religiosos podem considerar-se seguramente a mesma, apesar de todas as mudanças implementadas.

2

AMOSTRAGEM E METODOLOGIA

Com o objectivo de estudar as degradações da pedra presentes na Igreja de Paço de Sousa, recolheram-se diversas amostras para análise dos minerais constituintes da pedra de granito e dos minerais de sais solúveis presentes nas deteriorações da pedra. Para tal, utilizou-se a técnica de microscopia electrónica de varrimento. Para o estudo das propriedades físicas da pedra de granito utilizou-se a técnica do ensaio de porometria com o porosímetro de mercúrio.

1. AMOSTRAGEM

A amostragem efectuou-se no local em vários dias. No total recolheram-se 32 amostras de deteriorações designadas por PS 1 a PS 32. No Portal Oeste, retiraram-se quatro amostras de desagregação granular (PS 6, PS 7, PS 8 e PS 27), oito de placas (PS 10, PS 11, PS 12, PS 13, PS 14, PS 15, PS 31 e PS32, das quais as placas PS 11, PS 12, PS 31 e PS 32 apresentam a superfície exterior alaranjada provavelmente devido à utilização de um consolidante) e cinco de eflorescências pulverulentas (PS 3, PS 4, PS 5, PS 9 e PS 26). No contraforte à direita do Portal Oeste, obtiveram-se duas amostras de desagregação granular (PS24 e PS25). Ainda no exterior, no Portal Sul, extraíram-se duas amostras de desagregação granular (PS 28 e PS 29) e uma amostra de placas (PS 30). Na parede Oeste do interior da igreja, recolheram-se duas amostras de eflorescências pulverulentas (PS 1 e PS 2). Na parede Norte da Capela-mor, retiraram-se três amostras de desagregação granular (PS 21, PS 22 e PS 23) e cinco de eflorescências pulverulentas (PS 16, PS 17, PS 18, PS 19 e PS 20).

No Quadro 2.1 apresentam-se a descrição sumária das amostras, respectiva classificação assim como a sua localização, cota e data. A Figura 2.1 mostra a localização das amostras recolhidas no Portal Oeste da igreja e no contraforte à sua direita, a Figura 2.2 a localização das amostras obtidas no Portal Sul e a Figura 2.3 a localização em planta das amostras extraídas no interior do monumento.

Quadro 2.1 – Classificação e descrição das amostras recolhidas na Igreja de Paço de Sousa

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO / DESCRIÇÃO	LOCAL	ORIENTAÇÃO DA AMOSTRA	COTA ACIMA DO PAVIMENTO (★) (m)	DATA DE AMOSTRAGEM
PS 1	Eflorescência pulverulenta de cor branca, formada sobre argamassa de cimento de preenchimento da junta e sobre a pedra de granito na zona adjacente à junta. A junta e a pedra apresentavam-se muito húmidas. A amostra foi recolhida com pinça metálica. A eflorescência atinge 10 cm de largura, localizando-se a Sul da entrada.	INTERIOR FACHADA OESTE	ESTE	3,60 / 3,80	03 / 05 / 2007
PS 2	Eflorescência pulverulenta de cor branca, recolhida com pinça metálica sobre pedra de granito húmida, situando-se a Sul da entrada,		NORTE	3,55 / 3,80	
PS 3	Eflorescência pulverulenta de cor branca sobre pedra de granito localizada entre a 2ª e 3ª colunas do lado Norte do portal a partir da porta. Recolhida com pinça metálica e pincel.		ESTE	2,35 / 2,40	
PS 4	Eflorescência pulverulenta de cor branca sobre a mesma pedra de onde se obteve a amostra PS 3, Recolhida com pincel.		SUL	2,35 / 2,40	
PS 5	Eflorescência pulverulenta de cor branca, recolhida com pinça metálica e pincel na 1ª junta na base do 2º arco a contar de dentro no lado Norte do portal.		OESTE	3,80 / 3,90	
PS 6	Desagregação granular de intensidade intermédia recolhida em pedra de aplito localizada no lado Norte do portal na 4ª fiada da parede da igreja. Recolhida com escova de plástico.	EXTERIOR PORTAL OESTE	SUL / OESTE (aresta)	1,40 / 1,65	05 / 06 / 2007
PS 7	Desagregação granular de intensidade intermédia recolhida em pedra de aplito localizada no lado Norte do portal na 6ª fiada da parede da igreja (segunda pedra acima da de onde se retirou PS 6). Recolhida com escova de plástico.		SUL / OESTE (aresta)	2,15 / 2,35	
PS 8	Desagregação granular de intensidade fraca, recolhida em pedra de aplito de cor bege clara na base da cabeça do touro. Obtida com escova de plástico.		SUL / OESTE	3,00 / 3,25	
PS 9	Eflorescência pulverulenta de cor branca, recolhida em aplito na face inferior a padieira do portal (pedra por cima do homem e da cabeça do touro). Recolhida com pinça metálica e pincel.		-	3,50	
PS 10	Placa formada em pedra de aplito situada no lado Norte do portal no colunelo entre as 2ª e 3ª colunas a partir da porta. A amostra foi retirada com pinça metálica.		OESTE	1,15 / 1,17	
PS 11	Placas de duas gerações sucessivas com superfícies exteriores de cor alaranjada possivelmente resultantes da aplicação de um consolidante, recolhidas em pedra de aplito. A pedra localiza-se no lado Norte do portal no colunelo entre as 3ª e 4ª colunas a partir da porta. Amostra obtida com pinça metálica.		OESTE	1,13 / 1,21	

Quadro 2.1 – Classificação e descrição das amostras recolhidas na Igreja de Paço de Sousa (continuação)

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO / DESCRIÇÃO	LOCAL	ORIENTAÇÃO DA AMOSTRA	COTA ACIMA DO PAVIMENTO (★) (m)	DATA DE AMOSTRAGEM
PS 12	Placas de duas gerações sucessivas com superfícies exteriores de cor alaranjada possivelmente resultantes da aplicação de um consolidante, recolhidas em pedra de aplito. A pedra localiza-se no lado Norte do portal na base do colunelo da 3ª coluna a partir da porta. Amostra obtida com pinça metálica.	EXTERIOR PORTAL OESTE	OESTE	0,21 / 0,23	05 / 06 / 2007
PS 13	Placa espessa recolhida em pedra de aplito no lado Sul, na 5ª coluna a contar da porta. Retirada com pinça metálica.		NORTE/OESTE	0,85 / 0,89	
PS 14	Placa fina recolhida em pedra de aplito no lado Sul, na 5ª coluna a contar da porta. Retirada com pinça metálica.		NORTE/OESTE	1,00 / 1,03	
PS 15	Placa fina recolhida em pedra de aplito no lado Sul, na 5ª coluna a contar da porta. Retirada com pinça metálica.		NORTE/OESTE	1,71 / 1,74	
PS 16	Eflorescência pulverulenta de cor branca, recolhida no limite da argamassa de cimento com pedra de aplito em zona húmida. A pedra está em grande parte revestida por algas e situa-se à esquerda do 2º colunelo da parede Norte. Amostra extraída com pinça metálica.	INTERIOR CAPELA-MOR PAREDE NORTE	SUL	1,77 / 1,85	10 / 06 / 2007
PS 17	Eflorescência pulverulenta de cor branca, recolhida no centro da mesma pedra de aplito de PS 16, formando pequenos grãos. A pedra exhibe grande humidade e está em grande parte revestida por algas. Recolhida na com pinça metálica.		SUL	1,65 / 1,75	
PS 18	Eflorescência pulverulenta de cor branca, recolhida no contacto entre a pedra de granito e a junta preenchida com argamassa de cimento à direita do 2º colunelo da parede Norte. Amostra extraída com pinça metálica.		SUL	0,17 / 0,20	
PS 19	Eflorescência pulverulenta bege, obtida na intersecção da parede à direita do 2º colunelo com o mesmo. Retirada com pinça metálica.		SUL	4,95 / 5,05	
PS 20	Eflorescência pulverulenta bege formada sobre pedra de granito, obtida à esquerda do 2º colunelo da parede Norte. Amostra retirada com pinça metálica.		SUL	4,81	
PS 21	Desagregação granular de intensidade forte, recolhida em pedra de granito porfiróide de grão grosso, situada entre o 2º colunelo da parede Norte e o janelão à sua direita. Amostra obtida com escova de plástico.		SUL	4,55 / 4,70	
PS 22	Desagregação granular de intensidade intermédia, recolhida em pedra de granito porfiróide de grão grosso de cor cinzenta, situada na 3ª fiada abaixo da de PS 21, entre o 2º colunelo da parede Norte e o janelão à sua direita. Amostra obtida com escova de plástico.		SUL	3,85 / 3,95	

Quadro 2.1 – Classificação e descrição das amostras recolhidas na Igreja de Paço de Sousa (continuação)

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO / DESCRIÇÃO	LOCAL	ORIENTAÇÃO DA AMOSTRA	COTA ACIMA DO PAVIMENTO (*) (m)	DATA DE AMOSTRAGEM
PS 23	Desagregação granular de intensidade forte, recolhida em pedra de granito porfíroide de grão grosso, situada na 2ª fiada abaixo da de PS 22, entre o 2º colunelo da parede Norte e o janelão à sua direita. Amostra obtida com escova de plástico.	INTERIOR CAPELA-MOR PAREDE NORTE	SUL	3,15 / 3,35	10 / 06 / 2007
PS 24	Pequenos fragmentos de aplito recolhidos com martelo.	EXTERIOR CONTRAFORTE A SUL DO PORTAL	OESTE	2,90	
PS 25	Fragmento de aplito recolhido com martelo.	OESTE		4,52	
PS 26	Efflorescência pulverulenta de cor cinzenta clara, formada sobre pedra de granito situada no 3º colunelo a partir da porta, atrás da 3ª coluna, no lado Norte do portal. A amostra foi obtida com pincel.	EXTERIOR PORTAL OESTE	SUL	1,55 / 1,70	24 / 06 / 2007
PS 27	Desagregação granular de intensidade forte, obtida em pedra de aplito de cor cinzenta muito clara, situada na 5ª fiada, no 2º colunelo a partir da porta, no lado Norte do portal. A amostra foi obtida com escova de plástico.		SUL / OESTE	1,80 / 1,90	
PS 28	Desagregação granular de intensidade intermédia recolhida em pedra de aplito de cor bege, situada no lado Este do portal, no 1º colunelo a partir da porta. Amostra obtida com escova de plástico.		OESTE	0,7 / 0,9	
PS 29	Desagregação granular de intensidade intermédia recolhida em pedra de aplito de cor bege, situada no lado Este do portal, no 1º colunelo a partir da porta. Amostra obtida na vertical de PS 28 com escova de plástico.	EXTERIOR PORTAL SUL	OESTE	1,90 / 2,15	
PS 30	Placas recolhida em pedra de aplito, situada no lado Este do portal, no 1º colunelo a partir da porta. Amostra obtida na mesma vertical de PS 28 e PS 29 com pinça metálica.		OESTE	0,53 / 0,66	9 / 11 / 2007
PS 31	Placa com superfície exterior de cor alaranjada possivelmente resultante da aplicação de um consolidante, recolhida em pedra de aplito, no lado Norte do portal, na coluna mais exterior. Retirada com pinça metálica.	EXTERIOR PORTAL OESTE	SUL / OESTE	1,07 / 1,12	
PS 32	Placa com superfície exterior de cor alaranjada possivelmente resultante da aplicação de um consolidante, recolhida em pedra de aplito, no lado Sul do portal, na coluna mais exterior. Retirada com pinça metálica.		NORTE	1,20 / 1,30	

(*) – A não ser que venha especificado, as cotas dizem respeito aos pavimentos e não a degraus

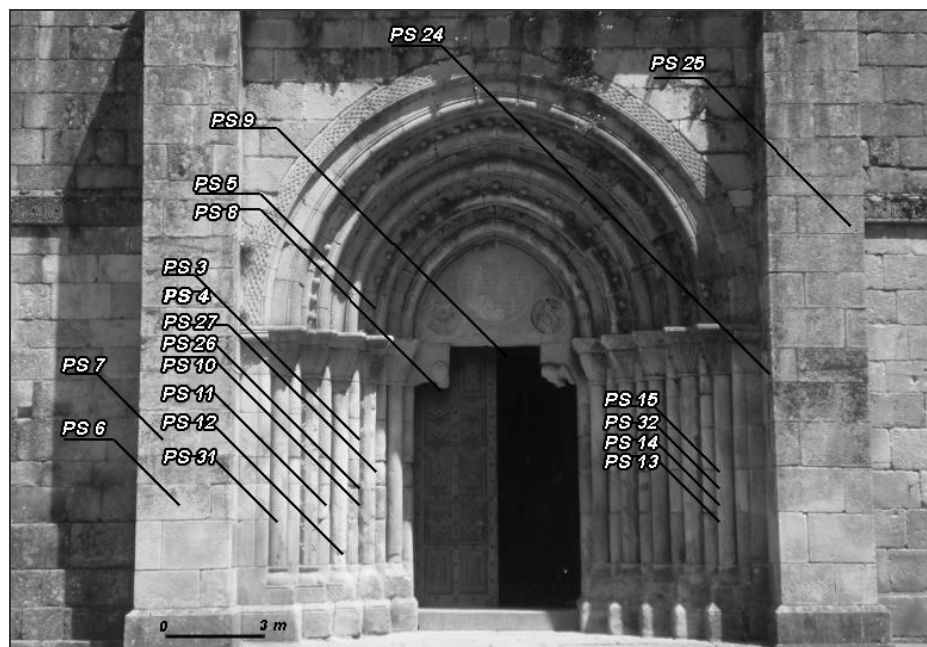


Figura 2.1 – Localização das amostras obtidas no portal Oeste



Figura 2.2 – Localização das amostras obtidas no portal Sul

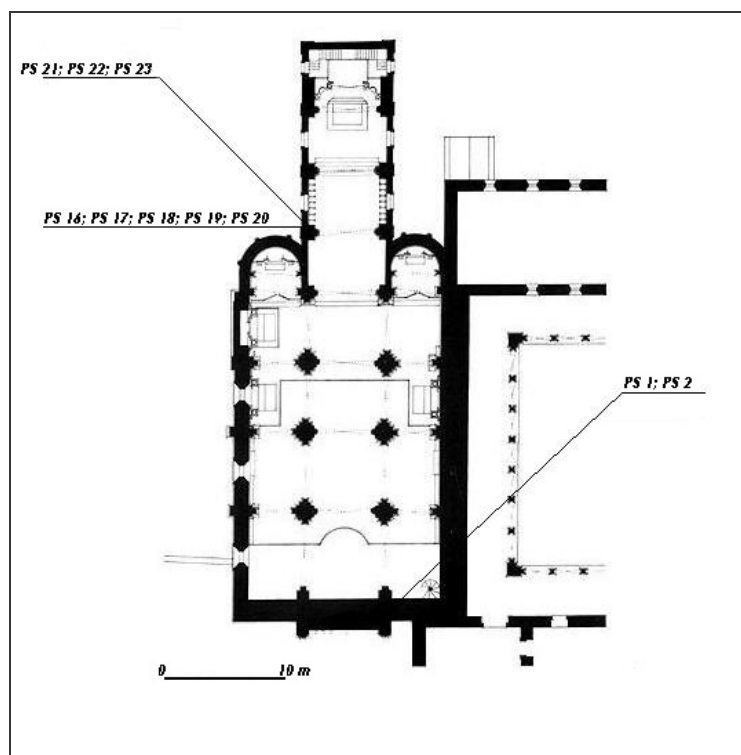


Figura 2.3 – Localização das amostras obtidas no interior da igreja

2. METODOLOGIA

As cartografias das litologias e as das deteriorações foram realizadas de acordo com os métodos apresentados por Fitzner (1990), Fitzner e Heinrichs (1991, 1994), Fitzner et al., (1992) e Fitzner et al., (1996). Nestas metodologias, são referidas quatro fases de procedimentos, necessárias para executar a cartografia de um monumento ou edifício: cartografia litológica, classificação e documentação das formas de deterioração, cartografia das formas de deterioração e medição e amostragem do edifício.

É considerado um esquema hierárquico na definição e cartografia dos tipos de deterioração que compreende três níveis: grupos de deteriorações, subgrupos e diferenciação dentro de cada subgrupo.

Muito dificilmente é efectuado o levantamento cartográfico de todo o monumento ou edifício dada não só a dificuldade em observar e aceder a certas zonas do monumento, mas também ao longo período de tempo necessário para o realizar. Assim sendo, efectuou-se o levantamento dos seguintes locais:

- o portal Oeste incluído na fachada principal.
- o paramento (incluindo os contrafortes) do lado Sul ao Portal Oeste.
- o segundo colunelo da Parede Norte da Capela Mor no interior da igreja.

Com o propósito de caracterizar petrofisicamente o aplito empregue no monumento, realizou-se o ensaio de determinação da porometria com o porosímetro de mercúrio nas amostras PS 13 e PS 25. Este ensaio permite a determinação dos diâmetros de acesso das principais famílias de poros (d_a), da porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}), da microporosidade (N_μ), da macroporosidade (N_M) e da razão entre a microporosidade e a porosidade total ao mercúrio (N_μ/N_{Hg}).

Na determinação da porometria com o porosímetro de mercúrio, utilizou-se o equipamento Poresizer 9320 da Micromeritics do Laboratório de Caracterização e Certificação de Materiais Granulares do Instituto Pedro Nunes (IPNlabgran) da Universidade de Coimbra, que opera numa gama de pressões compreendida entre 0,5 psia e 30000 psia, permitindo a intrusão de mercúrio em poros de diâmetro compreendido entre 360 μm , para a pressão mínima, e 60 \AA , para a pressão máxima.

Nos estudos de identificação dos minerais dos minerais de sais solúveis presentes nas deteriorações da pedra, recorreu-se à microscopia electrónica de varrimento (MEV).

As observações por MEV realizaram-se no Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP), recorrendo a um microscópio, modelo Jeol JSM-6301F, equipado com o sistema de microanálise por raios-X (EDS) Oxford Inca Energy 350. As amostras foram revestidas a ouro e observadas e analisadas por electrões secundários e/ou rectrodifundidos a 15, 10, 8, 6 ou 5 keV por períodos de tempo útil (*livetime*) iguais a 60 segundos. Esta técnica foi utilizada na caracterização mineralógica das amostras PS 3, PS 5, PS 6, PS 7, PS 8, PS 9, PS 11, PS 12, PS 13, PS 16, PS 17, PS 18, PS 19, PS21, PS 23, PS 26, PS 27, PS 31 e PS 32. Nas amostras PS 11, PS 31 e PS 32 obtiveram-se ainda análises químicas semi-quantitativas e espectros globais após períodos de tempo útil de 200 segundos.

3

ESTUDO DOS GRANITOS E CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA, LOCALIZAÇÃO E CARTOGRAFIA DAS DETERIORAÇÕES

O granito é um dos materiais de construção mais antigos, estando frequentemente associado aos conceitos de permanência e de eternidade. No entanto, estudos efectuados nos últimos anos (Alves, 1997, Begonha, 2001, Ferreira, 2004, Moutinho, 2005, Fojo, 2006, Costa, 2007) revelam que as pedras graníticas se vão deteriorando ao longo do tempo face aos diversos agentes agressivos, os principais dos quais estão associados ao tipo de ambiente onde o monumento se insere. De facto, a chuva, os minerais de sais solúveis, a temperatura, o vento, a colonização biológica e a qualidade do ar interferem e aceleram o processo de deterioração do granito.

A poluição atmosférica é, actualmente, um dos principais agentes de decaimento, embora, no caso do monumento em estudo, a sua acção não seja importante, uma vez que a vila de Paço de Sousa não exhibe teores elevados de contaminação do ar, como o comprova a inexistência quer de crostas negras quer de filmes negros, deteriorações associadas a níveis significativos de poluição antropogénica do ar.

A velocidade da deterioração da pedra está relacionada com o tipo e a intensidade dos agentes agressivos e com as propriedades intrínsecas da pedra, uma vez que estas condicionam a própria acção dos agentes agressivos. São sobretudo as características do meio poroso da pedra que facilitam ou dificultam a penetração e a evaporação de soluções salinas e, conseqüentemente, os pontos onde se realiza a cristalização dos minerais de sais solúveis.

1. GRANITOS DA IGREJA DE PAÇO DE SOUSA

1.1 MACROSCÓPIA DOS GRANITOS DA IGREJA DE PAÇO DE SOUSA

A região de Penafiel é constituída essencialmente por rochas graníticas (Figura 3.1). Observam-se diversos tipos petrográficos de granitos cuja distinção se baseia, essencialmente, em diferenças na textura e na composição mineralógica. Os granitos de grão fino moscovíticos ou essencialmente moscovíticos designam-se por aplitos. Por possuírem uma granulometria mais fina e uma textura mais suave, foram as rochas mais utilizadas em pedras trabalhadas, ideais para ornamentos decorativos, capitéis, colunas e colunelos. Os granitos de grão grosseiro ou médio foram principalmente empregues nos silhares de paramentos.

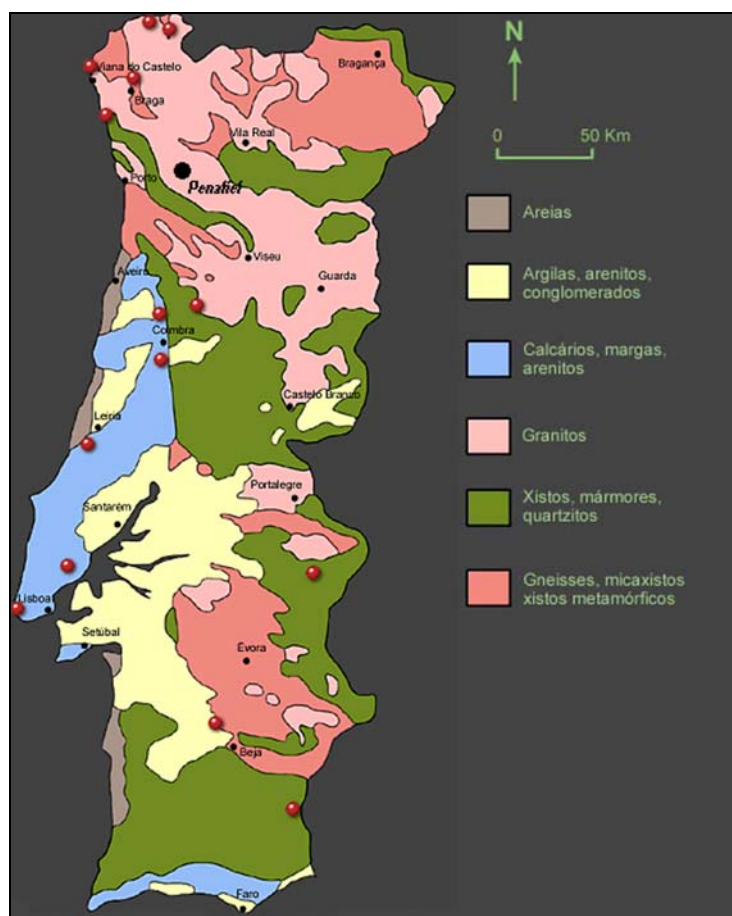


Figura 3.1 – Mapa geológico de Portugal (Pimentel, 1994)

Na Igreja de Paço de Sousa, aplicaram-se vários tipos litológicos de rochas graníticas, designadamente:

- granito porfiróide de grão grosso escuro (Figuras 3.2a, 3.2b);
- granito porfiróide de grão grosso claro (Figura 3.2c);
- granito porfiróide de grão fino (Figura 3.2d);
- aplito com turmalina (Figuras 3.2a, 3.2e).

A degradação da pedra de granito pode variar não só de pedra para pedra no mesmo tipo litológico mas também conforme os diferentes tipos litológicos, sendo por isso fundamental identificar o ou os tipos de pedra usados na construção do monumento.

Para tal, elaboraram-se três cartas litológicas, duas exteriores correspondentes ao portal Oeste (Figura 3.3) e ao paramento do lado Sul da fachada Oeste (Figura 3.4) e uma interior correspondente ao segundo colunelo da parede Norte da capela-mor (Figura 3.5).



a) Aplito com turmalina e granito porfiróide de grão grosso escuro



b) Granito porfiróide de grão grosso escuro



c) Granito porfiróide de grão grosso claro



d) Granito porfiróide de grão fino



e) Aplito com turmalina

Figura 3.2 – Aspecto macroscópico das rochas graníticas usadas na Igreja de Paço de Sousa

1.2. CARTOGRAFIAS LITOLÓGICAS

Nos locais cartografados, foi efectuado o levantamento exaustivo das litologias e das deteriorações pedra a pedra, atribuindo-se cores distintas aos diferentes tipos de rochas graníticas ou às diversas deteriorações. O granito porfíróide de grão grosso escuro está representado a vermelho, o granito porfíróide de grão grosso claro a cor-de-rosa, o granito porfíróide de grão fino a cor-de-laranja, o aplito com turmalina a amarelo e as argamassas de cimento a cinzento.

A Figura 3.3 representa a litologia do portal Oeste na fachada principal da igreja de Paço de Sousa. O portal é constituído na íntegra por aplito com turmalina, exceptuando a padieira em granito porfíróide de grão grosso escuro.

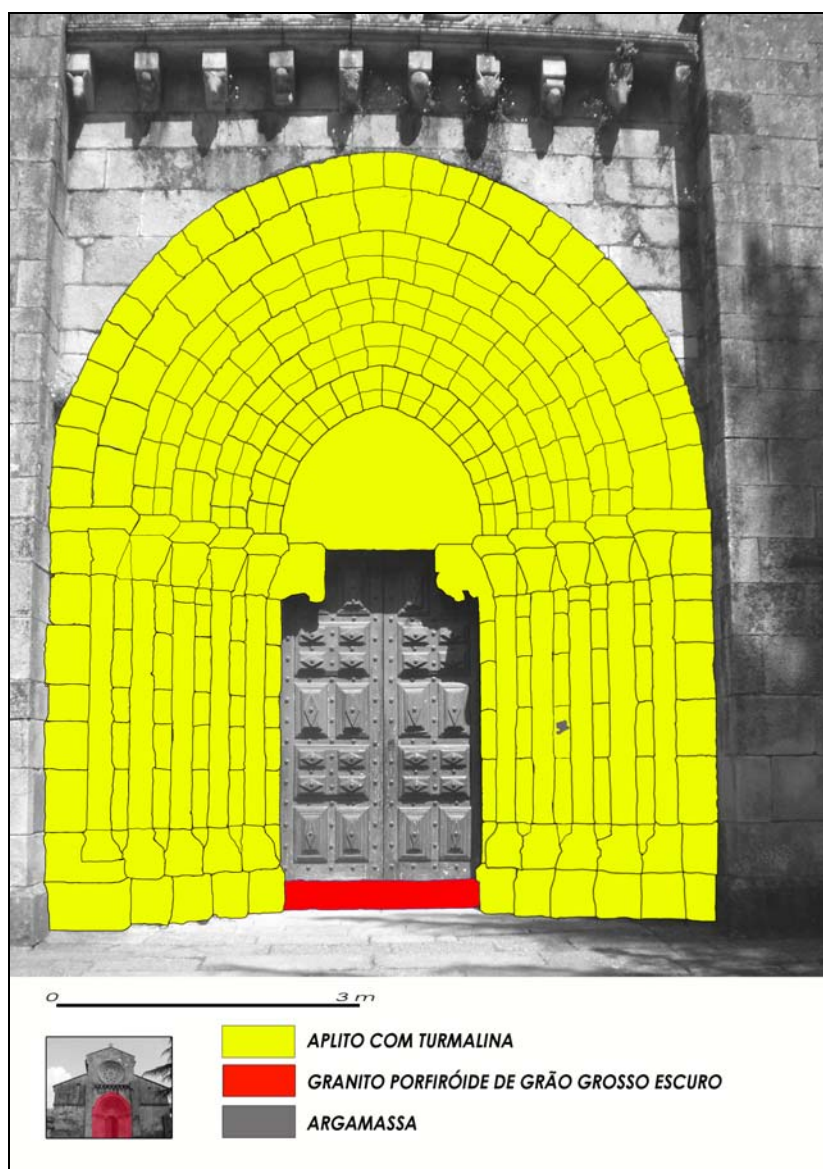


Figura 3.3 – Cartografia litológica do portal Oeste da Igreja de Paço de Sousa

A litologia do paramento Sul ao lado do portal Oeste é representada na Figura 3.4. Como se trata meramente de uma parede com fim estrutural, o grau decorativo é nulo. Aplicaram-se o aplito com turmalina e os três tipos de granito referenciados.



Figura 3.4 – Cartografia litológica do paramento Sul da fachada Oeste da Igreja de Paço de Sousa

Apesar de a intensidade de os agentes agressivos não ser tão acentua como no exterior, o estudo do interior do monumento não deixa de ser menos importante. Fenómenos como a ascensão de água por capilaridade e infiltrações a partir das coberturas são de extrema importância e o seu estudo não pode excluir o estudo da natureza da pedra usada. A Figura 3.5 mostra as diversas naturezas das pedras usadas num dos colunelos da capela-mor.

O centro do colunelo é constituído por aplito com turmalina, bem como algumas das pedras das duas zonas laterais. A base do colunelo e as restantes pedras das duas zonas laterais são de granito porfiróide de grão grosso escuro. Grande quantidade de argamassa de cimento foi aplicada em trabalhos de conservação recentes



Figura 3.5 – Cartografia litológica do segundo colunelo da parede Norte da capela-mor

1.3. POROMETRIA DO APLITO COM TURMALINA

O estudo da porometria requer o emprego de várias técnicas, cada uma com o seu campo preciso de aplicação, devido à grande gama da dimensão e geometria dos poros e/ou fissuras e das suas interligações, sendo a mais utilizada a do porosímetro de mercúrio.

Os valores obtidos no ensaio com o porosímetro de mercúrio, nomeadamente da porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}), da microporosidade (N_{μ} - porosidade relativa às fissuras com diâmetros inferiores a $7,5 \mu m$), da macroporosidade (N_M - porosidade relativa às fissuras com diâmetros superiores a $7,5 \mu m$), da percentagem da microporosidade relativamente à porosidade total ao mercúrio (N_{μ}/N_{Hg}) e dos diâmetros de acesso das principais famílias de fissuras (d_a) nas amostras de aplito com turmalina PS 13

e PS 25 são apresentados no Quadro 3.1. Em cada amostra, o primeiro valor de d_a corresponde à principal família de fissuras.

Quadro 3.1 – Valores dos parâmetros obtidos no ensaio de porometria

Amostras	Porometria					
	N_{Hg}	N_{HgR}	N_{\square}	N_M	$N_{\square} N_{Hg}$	d_a
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	($\square m$)
PS 13	6,26	4,99	4,13	2,13	66	2,35
						9,92
PS 25	7,79	5,65	5,43	2,36	70	1,62
						9,66

Conforme se pode verificar, as duas amostras de aplito apresentam valores de N_{Hg} da mesma ordem de grandeza (6,26% e 7,79%) apesar de PS 13 ser uma placa e PS 25 ser um fragmento afectado por desagregação granular de intensidade fraca a intermédia. Estes valores enquadram-se nos obtidos em granitos de duas micas e aplitos empregues em diversos edifícios e monumentos do Norte de Portugal (Quadro 3.2).

De acordo com o Quadro 3.1, os valores da microporosidade N_{μ} são muito superiores aos da macroporosidade N_M . Assim, a microporosidade representa entre 66% e 70% da porosidade total ao mercúrio, respectivamente no aplito com placas e no aplito afectado por desagregação granular. Valores idênticos foram obtidos em diversos tipos de granitos empregues em edifícios e monumentos do Norte de Portugal (Quadro 3.3).

O Quadro 3.1 mostra que, nas duas amostras de aplito com turmalina, se verifica a existência de duas famílias de fissuras (Figuras 3.6 e 3.7). O meio poroso do aplito com turmalina é consequentemente bimodal. O diâmetro da principal família de fissuras está compreendido entre 1,62 μm e 2,35 μm e o da segunda família de fissuras entre 9,66 μm e 9,92 μm .

Quadro 3.2 – Valores limite da porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) obtidos em granitos de duas micas e aplitos empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal

Monumento ou edifício estudado	N_{Hg} (%)
Igreja de Paço de Sousa – aplito com turmalina meteorizado afectado por placas ou por desagregação granular	6,26 – 7,79
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2000)	5,95 – 8,46
Hospital de Santo António – placa de Granito do Porto (Begonha, 2001)	5,85
Mosteiro de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã (Begonha, 2002a)	7,60 – 12,38
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2003c)	5,64 – 9,09
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio (Begonha, 2003c)	6,83 – 9,90
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão grosseiro (Begonha, 2003a)	3,36 – 4,91
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão médio (Begonha, 2003a)	3,87
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino (Begonha, 2004a)	4,42 – 4,64
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto (Moutinho, 2005)	4,20 – 4,43
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio (Fojo, 2006)	7,69 – 11,21
Igreja Matriz de Caminha – microgranito (Fojo, 2006)	5,33 – 6,76
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado (Costa Leite, 2008)	2,89
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, muito meteorizado (Costa Leite, 2008)	7,42
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara (Costa Leite, 2008)	4,39
Amostra de fragmentos de aplito moscovítico, meteorizado, de cor cinzenta muito clara, afectado por desagregação granular de média intensidade (Costa Leite, 2008)	9,37

Conforme se pode verificar no Quadro 3.4, os valores dos diâmetros de acesso da ou das famílias de fissuras das duas rochas graníticas estudadas na Igreja de Paço de Sousa enquadram-se nos valores obtidos em rochas graníticas aplicadas em diversos edifícios e monumentos do Norte de Portugal.

Quadro 3.3 – Valores limite da razão entre a microporosidade (N_{μ}) e a porosidade total ao mercúrio (N_{Hg}) obtidos em granitos de duas micas e aplitos empregues em monumentos e edifícios do Norte de Portugal

Monumento ou edifício estudado	$100 \times N_{\mu}/N_{Hg}$ (%)
Igreja de Paço de Sousa – aplito com turmalina meteorizado afectado por placas ou por desagregação granular	66 – 70
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2000)	81 – 96
Hospital de Santo António – placa de Granito do Porto (Begonha, 2001)	75
Mosteiro de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã (Begonha, 2002a)	80
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2003c)	72 – 80
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio (Begonha, 2003c)	67 – 73
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão grosseiro (Begonha, 2003a)	64 – 65
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão médio (Begonha, 2003a)	79 – 80
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino (Begonha, 2004a)	66 – 78
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto (Moutinho, 2005)	49 – 56
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio (Fojo, 2006)	61 – 67
Igreja Matriz de Caminha – microgranito (Fojo, 2006)	63 – 78
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfíroide, meteorizado (Costa Leite, 2008)	63
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfíroide, muito meteorizado (Costa Leite, 2008)	68
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara (Costa Leite, 2008)	78
Amostra de fragmentos de aplito moscovítico, meteorizado, de cor cinzenta muito clara, afectado por desagregação granular de média intensidade (Costa Leite, 2008)	68

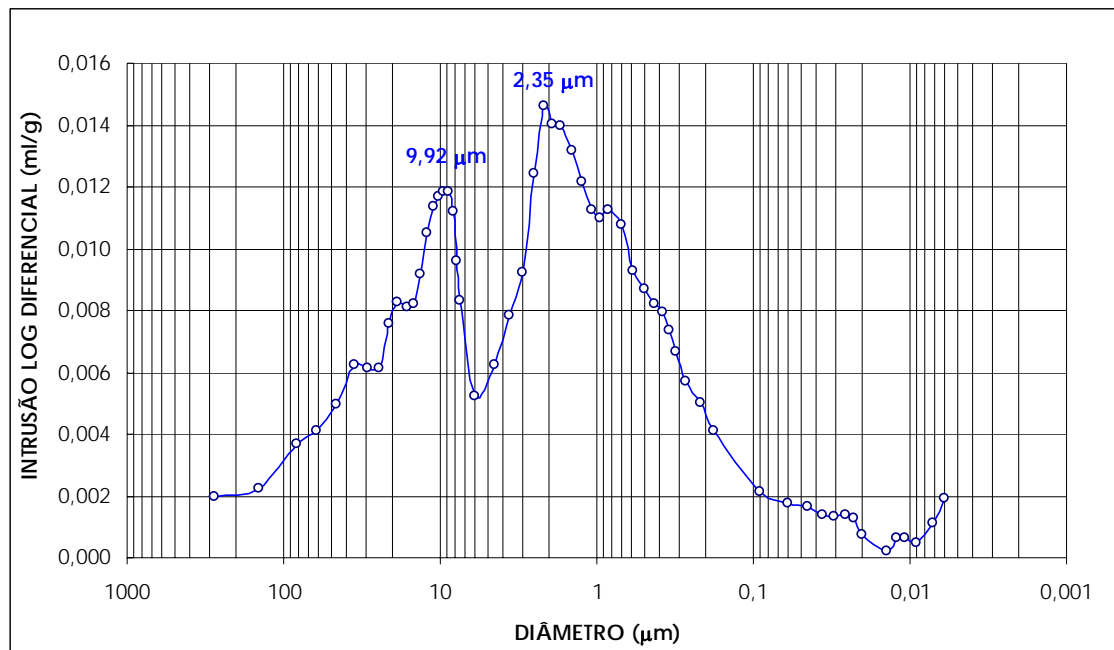


Figura 3.6 – Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra PS 13 de uma placa de aplito meteorizado

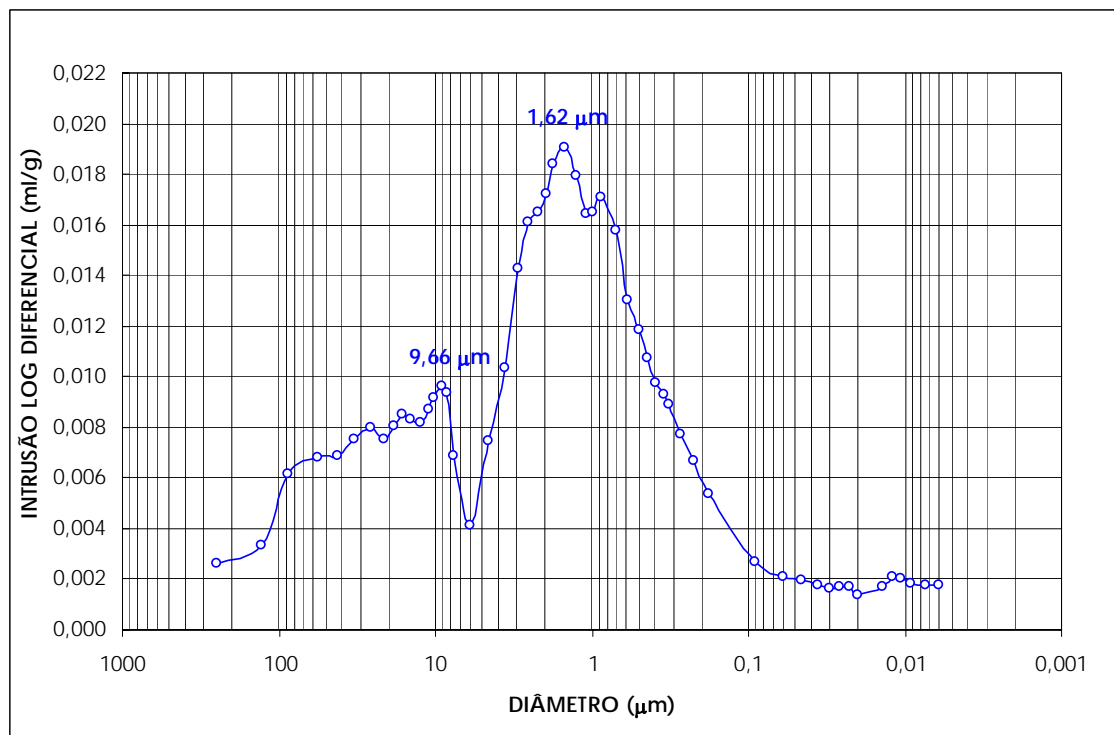


Figura 3.7 – Distribuição dos diâmetros de acesso às fissuras na amostra PS 25 de um fragmento de aplito meteorizado afectado por desagregação granular

Quadro 3.4 – Valores limite dos diâmetros de acesso das principais famílias de poros de granitos de duas micas e aplitos usados em monumentos e edifícios do Norte de Portugal

Granito meteorizado, monumento ou edifício estudado	Família principal d_a (μm)	Família secundária d_a (μm)
Igreja de Paço de Sousa – aplito com turmalina meteorizado afectado por placas ou por desagregação granular	1,62 – 2,35	9,66 – 9,92
Granito do Porto meteorizado (Begonha et al, 1994, Begonha, 2001)	0,25 – 0,65	
Granito de Braga meteorizado (Alves, 1997)	0,4	
Granito de Gondizalves meteorizado (Alves, 1997)	0,4	
Mosteiro de São Miguel de Refojos – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2000)	1,0 – 3,0	
Hospital de Santo António – placa de Granito do Porto (Begonha, 2001)	5,5	
Mosteiro de São João de Tarouca – Granito de Vila Chã (Begonha, 2002a)	1,5	
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão médio a grosseiro (Begonha, 2003c)	0,9 – 1,9	9,0 – 9,3
Igreja de São Pedro de Rates – granito de grão fino a médio (Begonha, 2003c)	1,9 – 4,0	8,6 – 9,4
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão grosseiro (Begonha, 2003a)	0,8 – 0,9	14,2 – 14,9
Igreja Matriz de Espinho – granito de grão médio (Begonha, 2003a)	0,8 – 1,9	9,4
Convento de São Gonçalo de Amarante – granito de grão fino (Begonha, 2004a)	0,3 – 1,8	8,7 – 9,3
Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio – Granito do Porto (Moutinho, 2005)	10,7 – 18,5	1,6 – 2,8
Igreja Matriz de Caminha – granito de grão médio (Fojo, 2006)	9,2 – 16,2	1,0 – 3,8
Igreja Matriz de Caminha – microgranito (Fojo, 2006)	2,0 – 4,9	8,7 – 10,1
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, meteorizado (Costa Leite, 2008)	0,76	9,49 – 13,03
Igreja de Santa Clara – Granito de duas micas de grão médio a grosseiro com tendência a porfiróide, muito meteorizado (Costa Leite, 2008)	0,78	9,05 – 16,09
Igreja de Santa Clara – Aplito moscovítico, meteorizado de cor cinzenta muito clara (Costa Leite, 2008)	0,79	
Amostra de fragmentos de aplito moscovítico, meteorizado, de cor cinzenta muito clara, afectado por desagregação granular de média intensidade (Costa Leite, 2008)	2,39	9,19

2. CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA DAS DETERIORAÇÕES

A partir da observação directa no local, constata-se que a pedra no Mosteiro de Paço de Sousa já se encontra num estado avançado de degradação. Seguidamente referem-se os tipos de deteriorações encontrados no exterior e interior do monumento.

2.1. EXTERIOR DO MONUMENTO

Desagregação granular, placas, plaquetas, eflorescências pulverulentas, juntas abertas, fendas e colonização biológica são os principais tipos de deteriorações observados nas fachadas da Igreja de Paço de Sousa.

O levantamento das deteriorações, apesar de um processo moroso e, por vezes penoso, tem grande utilidade não só nos trabalhos de intervenção, permitindo a interpretação dos mecanismos responsáveis pelas degradações mas também na determinação das áreas afectadas pelas distintas deteriorações da pedra e, conseqüentemente, dos custos ligados à aplicação das técnicas e dos produtos de limpeza e conservação.

Com esse objectivo e juntamente com a descrição das deteriorações no ponto anterior, realizaram-se os levantamentos cartográficos das deteriorações que afectam o portal Oeste (Figura 3.8) e o paramento a Sul do mesmo (Figura 3.9). As cartografias das deteriorações do portal Oeste e do paramento traduzem a distribuição das deteriorações referidas, permitindo assim uma melhor situação destas no exterior do monumento.

A desagregação granular de fraca, média e forte intensidades são representadas respectivamente a amarelo, cor-de-laranja e vermelho. As placas, as plaquetas e as eflorescências representam-se a violeta, bege e azul, respectivamente. A colonização biológica, a sujidade e as argamassas de cimento estão representadas a verde, cinzento e preto.

2.1.1. DESAGREGAÇÃO GRANULAR

A desagregação granular, também designada por desagregação arenosa, é a deterioração mais importante na Igreja de Paço de Sousa, afectando grande parte das pedras graníticas. A desagregação granular resulta da acção de cristalização de sais solúveis próximo da superfície ou no interior das pedras. Segundo Begonha (2001), caracteriza-se pelo aumento da rugosidade das superfícies devido à presença de grãos minerais salientes, resultantes do desengaste dos grãos por acção das forças de cristalização de sais solúveis, tendo como consequência a perda de material. Conduz ao arredondamento das arestas da pedra e por vezes a grandes perdas de pormenores de cantarias e esculturas.

Optou-se por classificar a desagregação granular em três níveis de intensidade. A desagregação granular de intensidade fraca caracteriza-se por uma perda muito pequena ou nula de material pétreo. Na desagregação granular de intensidade forte, verifica-se a queda abundante de material arenoso pelo simples toque das superfícies afectadas. A desagregação granular de intensidade intermédia situa-se num nível intermédio das duas já referidas.

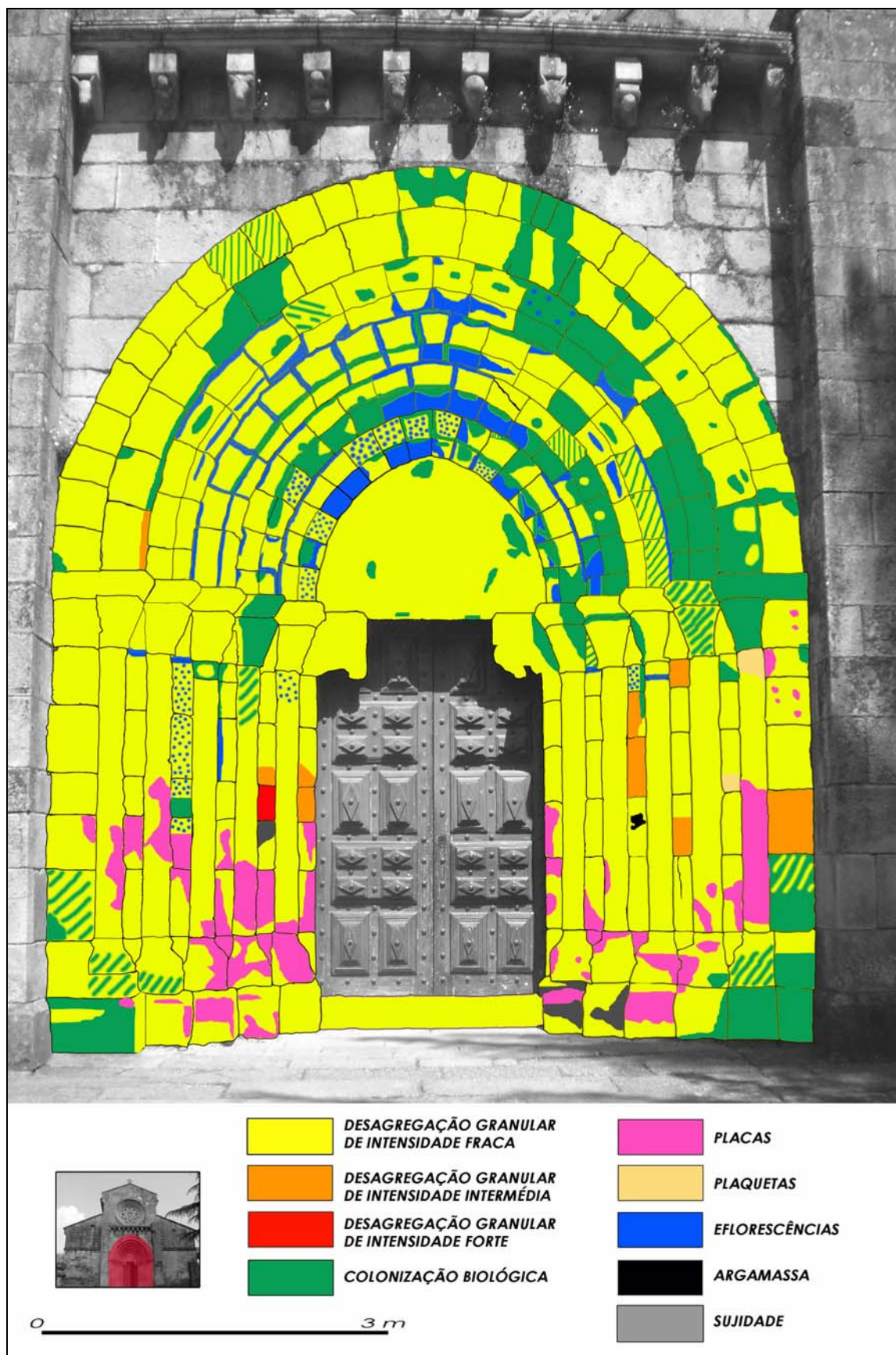


Figura 3.8 – Cartografia das deteriorações da pedra do portal Oeste

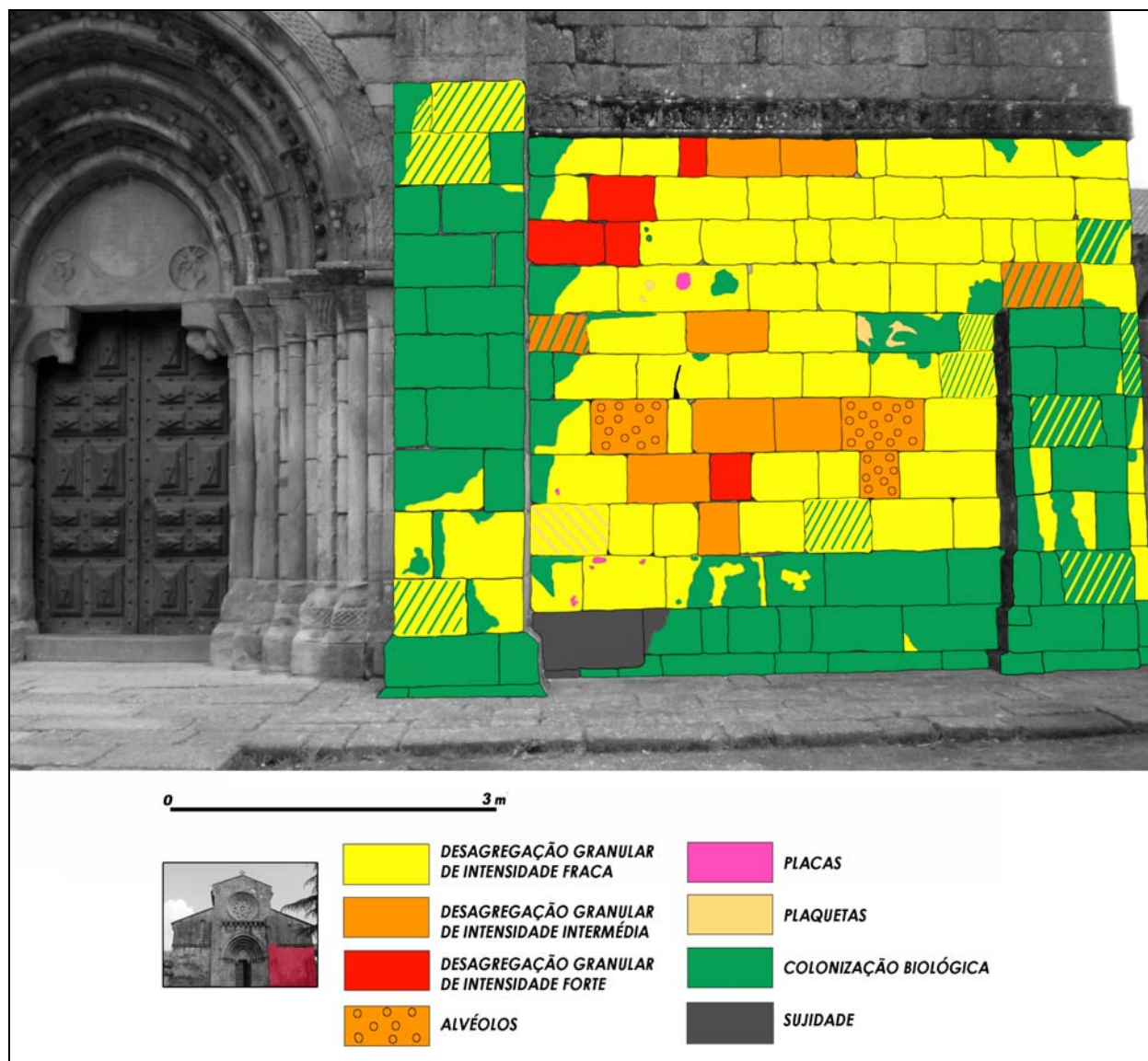


Figura 3.9 – Cartografia das deteriorações da pedra do paramento Sul da fachada Oeste

No exterior do monumento, a desagregação granular aparece associada a áreas com as seguintes características:

- zonas húmidas, não lixiviadas, localizadas nas áreas mais baixas, submetidas à ascensão capilar de soluções salinas;
- zonas expostas, sobretudo orientadas para os ventos chuvosos.

No portal Oeste, observam-se perdas importantes de material pétreo nas colunas, colunelos, capitéis e nos ornamentos decorativos (Figuras 3.10a, 3.10b, 3.10c, 3.10d) até à cota dos capitéis, compatíveis com desagregação granular de intensidade forte. No entanto, à excepção de uma pedra de um colunelo (de onde se retirou a amostra PS 27 – Figuras 3.8 e 3.10c), a desagregação granular é de intensidade fraca, raramente de intensidade intermédia.

Esta incongruência, aliada ao facto de as pedras possuírem uma cor alaranjada, poderá ser explicada pela aplicação de um produto consolidante de natureza e composição química desconhecidas, responsável pelo aparecimento de um filme superficial que, por reacção com as radiações ultravioletas da luz solar, conferiu tons amarelo-alaranjados à pedra, inicialmente de tons cinzentos. Para além disso, muitas pedras do portal Oeste evidenciam maiores perdas de material relativamente às pedras do paramento Sul da fachada, embora número significativo destas exiba desagregação granular de maior intensidade (média ou forte – Figura 3.9). As pedras do paramento não apresentam filme superficial de tom alaranjado. Estes dois factos fortalecem a hipótese do uso de um consolidante no portal Oeste.

Begonha (2002c), refere um fenómeno idêntico nos portais Oeste e Sul da Igreja de S. Pedro de Rates resultante da aplicação de um produto consolidante (silicone) na década de oitenta do século XX.

No paramento a Sul do portal da fachada Oeste, observaram-se três pedras afectadas simultaneamente por desagregação granular de intensidade intermédia e por alvéolos, sendo uma de granito porfiróide de grão grosso claro e duas de granito porfiróide de grão grosso escuro. (Figuras 3.9 e 3.11).

Segundo Beaucourt (1975), Beaucourt e Jaton (1975), Jeannette (1980), Silva Hermo et al. (1996a) e (Begonha 1997, 2001), a formação de alvéolos em calcários arenitos e granitos é considerada como um fenómeno extremo de desagregação granular diferencial.

De acordo com Aires-Barros (1991), a alveolização em calcários é a desagregação superficial da rocha numa espessura entre décimos de milímetro a cerca de meio centímetro, mantendo-se a parte interna sã. A velocidade de alteração e erosão varia, originando zonas escavadas mais ou menos profundas, separadas por tabiques. O aspecto geral é o de alvéolos múltiplos, de formas e dimensões variadas.

Em pedras graníticas, os alvéolos estão sempre associados à desagregação granular. São pequenas depressões com abertura de secção mais ou menos circular ou elíptica, em geral não ultrapassando os 10 mm de dimensão, podendo atingir profundidades da ordem de grandeza da dimensão da sua abertura. Apesar de não ter sido observado em Paço de Sousa, a secção dos alvéolos aumenta por vezes de dimensão com a profundidade, como foi observado por Begonha (2004a) em pedras de granito das colunas da fachada Oeste da Igreja de São Gonçalo de Amarante. Quando em número muito elevado, a pedra exhibe o aspecto característico de favos, zonas escavadas separadas por tabiques.

Begonha (2003a, 2004a) e Bré (2007) referem a presença de alvéolos em pedras afectadas por desagregação granular de forte intensidade, respectivamente na Igreja Matriz de Espinho, Igreja de São Gonçalo de Amarante e Capela do Senhor da Pedra em Miramar.

No portal Sul, verifica-se maior intensidade na desagregação granular no lado orientado a Sudoeste relativamente ao orientado a Sudeste (Figura 3.12a), principalmente nas colunas, colunelos e capitéis (Figura 3.12 b).



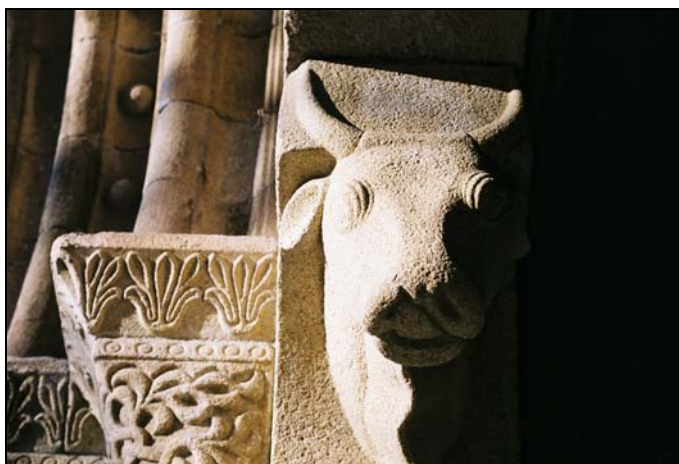
a) Elemento decorativo do lado direito



b) Capitel do lado orientado a Sudoeste



c) Colunas e colunelos do lado orientado a Sudoeste



d) Touro e capitéis do lado esquerdo

Figura 3.10 – Aspectos macroscópicos de pedras afectadas por desagregação granular no portal Oeste

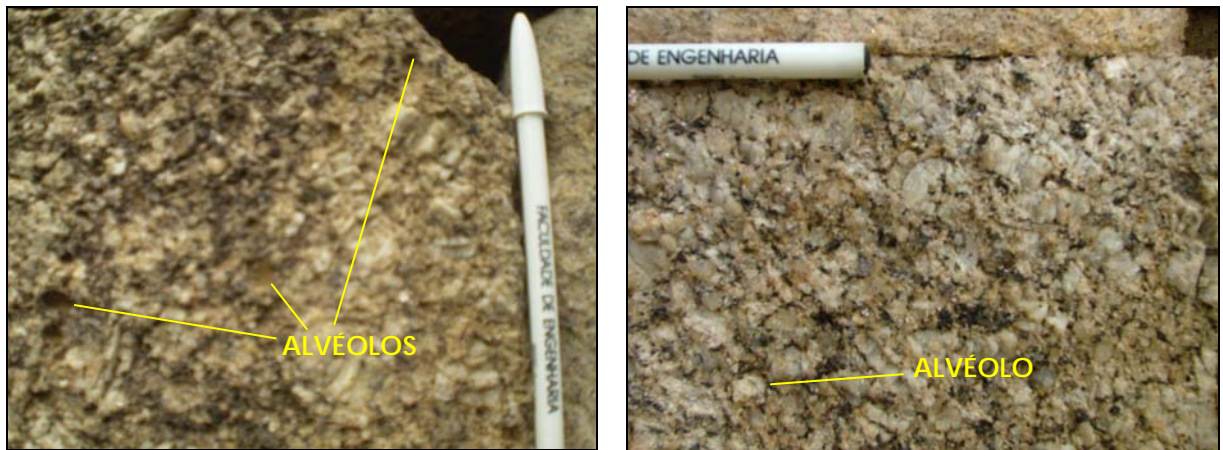


Figura 3.11 – Aspectos macroscópicos de alvéolos em pedras com desagregação granular na Igreja de Paço de Sousa



a) Vista geral do portal Sul



b) Capitéis orientados a Sudoeste

Figura 3.12 – Aspectos macroscópicos de desagregação granular no portal Sul

2.1.2. PLACAS

Na Igreja de Paço de Sousa, as placas encontram-se essencialmente no portal Oeste (Figura 3.8), sendo raras nos contrafortes e nos paramentos da fachada Oeste (Figura 3.9). Segundo Begonha (2001), as placas acompanham a superfície exterior das pedras, sendo delimitadas por duas superfícies paralelas,

resultando da cristalização de minerais de sais solúveis no interior das pedras num plano paralelo à superfície exterior das mesmas. Constituem formações pouco espessas, geralmente não ultrapassando os 5 mm de espessura. A maior parte das placas é bastante compacta, estendendo-se normalmente por uma área compreendida entre a dezena e a centena de centímetros quadrados.

De um modo geral, apresentam forma plana mas no caso de colunas e colunelos, podem exibir formas cilíndricas (Figuras 3.13a e 3.13b) ou tronco-cónicas (Figuras 3.13a e 3.13c). Durante a sua evolução, vão-se progressivamente destacando da pedra, acabando por se separar e cair, deixando cicatrizes facilmente reconhecíveis (Figura 3.13b). A face interior da placa (voltada para o interior da pedra) e a zona da pedra de onde a placa se destacou apresentam quase sempre um material pulverulento e aspectos de desagregação granular. Por vezes, a seguir à queda de uma placa, novas gerações de placas, menos desenvolvidas e espessas que as anteriores, voltam sucessivamente a cair, como sucede perto da base de umas das colunas do portal Oeste orientada para Sudoeste de que resulta forte recuo da superfície (Figura 3.13a).



a) Placa cilíndrica e tronco-cónica em coluna



b) Cicatriz de placa após a sua queda numa coluna



c) Placa tronco-cónica na base de uma coluna do Portal Oeste

Figura 3.13 – Aspectos macroscópicos de placas no portal Oeste – lado orientado a Sudoeste

No portal Oeste do monumento (Figura 3.8), as placas aparecem associadas sobretudo a zonas húmidas, não lixiviadas, localizadas nas áreas mais baixas das fachadas, submetidas a ascensão capilar de soluções salinas, normalmente abaixo das pedras mais intensamente afectadas por desagregação granular.

2.1.3. PLAQUETAS

O exterior da Igreja de Paço de Sousa revela a existência de reduzido número de plaquetas (Figura 3.8 e 3.9). Segundo Begonha (2001), as plaquetas constituem uma deterioração que pode ser classificada como que de transição entre a desagregação granular e as placas. Caracterizam-se por acompanharem a superfície exterior das pedras, sendo delimitadas por duas superfícies paralelas, em geral não tão bem definidas como no caso das placas. Constituem formações pouco espessas, não ultrapassando normalmente os 2 mm. As plaquetas são usualmente pouco duras e pouco compactas, estendendo-se por áreas inferiores a um centímetro quadrado até aos dois centímetros quadrados, apresentando geralmente forma plana.

Durante a sua evolução, vão-se progressivamente destacando da pedra, acabando por se separar e cair. Tal como nas placas, a face interior das plaquetas e a zona da pedra de onde a plaqueta se destacou, apresentam aspectos de desagregação granular. Uma pedra afectada por plaquetas exhibe, de uma maneira geral, uma sucessão de zonas empoçadas (zonas onde as plaquetas já se destacaram da pedra mas ainda não caíram) e de zonas semelhantes a crateras (zonas onde as plaquetas já caíram).

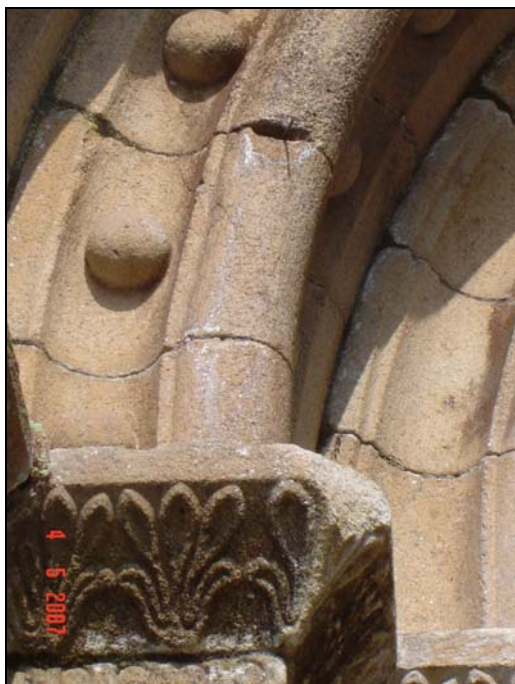
As plaquetas formam-se em zonas húmidas, não lixiviadas, mais baixas das fachadas, sujeitas a ascensão capilar de soluções salinas a partir do solo. Não se localizam abaixo das pedras com placas, podendo-se formar, quer ao lado de pedras afectadas por placas ou desagregação granular de intensidade média a forte, quer acima destas.

2.1.4. EFLORESCÊNCIAS PULVERULENTAS

As eflorescências definem-se como o desenvolvimento de cristalização de sais solúveis sobre a superfície de meios porosos, designadamente pedras e argamassas. As eflorescências observadas no exterior da Igreja de Paço de Sousa são eflorescências do tipo pulverulento (Figura 3.14). As eflorescências são constituídas por grãos muito finos essencialmente micrométricos, formando agregados pouco coesos, sendo facilmente removidas com a simples passagem de um pincel de textura suave.

As eflorescências exteriores geralmente podem ser observadas em zonas sujeitas a ascensão capilar, formando-se sobre argamassas de juntas de cimento ou sobre as pedras no contacto com as referidas argamassas como no Hospital de Santo António no Porto (Begonha, 1997, 2001) ou sob cornijas por onde a água da chuva percola através de juntas abertas como sucede no portal Sul da Igreja de São Gonçalo de Amarante (Begonha, 2004a).

Na igreja de Paço de Sousa, localizam-se apenas no portal Oeste (Figura 3.8), principalmente nos arcos e, em menor quantidade, um pouco abaixo dos capitéis das colunas e colunelos (Figuras 3.8 e 3.14).



a) Eflorescências sobre arcos



b) Eflorescências sobre colunelo



c) Eflorescências sobre arcos, colunelos, colunas e capitéis

Figura 3.14 – Eflorescências pulverulentas no portal Oeste

2.1.5. COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA

As plantas desenvolvem-se nas áreas mais húmidas e sombrias e ainda, em juntas abertas onde a escorrência ou a permanência de humidade são maiores.

A colonização biológica tem grande expressão na Igreja de Paço de Sousa (Figuras 3.8 e 3.9), manifestando-se pelo desenvolvimento de líquenes (Figuras 3.15a, 3.15b, 3.15c, 3.15d e 3.15f), musgos (Figura 3.15c, 3.15d), algas (Figura 3.15b, 3.15f), fetos (Figura 3.15b) e fanerogâmicas (Figuras 3.15e e 3.15f).



a) Líquenes na base do paramento Sul da fachada Oeste



b) Líquenes, algas e feto na base do paramento Sul da fachada Oeste



c) Musgo e líquenes no topo do contraforte Sul da fachada Oeste



d) Musgos e líquenes no canto entre as fachadas Oeste e Sul



e) Fanerogâmicas no topo do contraforte Sul da fachada Oeste



f) Líquenes, algas e fanerogâmicas no portal Oeste

Figura 3.15 – Colonização biológica na Igreja de Paço de Sousa

A colonização líquénica é mais importante, havendo desenvolvimento generalizado de vários tipos em todas as fachadas, revestindo na totalidade várias pedras e impedindo a observação do material pétreo (Figuras 3.8, 3.9, 3.14a e 3.14b). A profusão de líquenes indicia altos teores de humidade e baixos índices de poluição atmosférica. As hifas dos líquenes penetram através das fissuras do granito, aumentando a espessura das mesmas e originando novas fissuras.

As plantas superiores (fetos e fanerogâmicas) crescem frequentemente em juntas abertas ou nas que exibem argamassas muito deterioradas, em cornijas e em superfícies planas dos paramentos (Figura 3.14e). O seu crescimento e sobretudo a expansão das raízes conduzem por vezes à fragmentação das pedras, chegando a atingir dimensões apreciáveis.

2.1.6. SUJIDADE

A sujidade resulta essencialmente da actividade do Homem, juntamente com a humidade, provocando lamas que pode recobrir, na íntegra a pedra de granito. A sujidade concentra-se essencialmente na base das fachadas do monumento, locais mais susceptíveis à actividade humana (Figuras 3.9 e 3.16).

Na Igreja de Paço de Sousa, algumas pedras apresentam-se cobertas por uma película de sujidade de cor cinzenta que por vezes recobre a pedra na sua totalidade (Figuras 3.9 e 3.16).



Figura 3.16 – Sujidade numa pedra da base do paramento Sul do portal Oeste

2.1.6. JUNTAS ABERTAS E FENDAS

Por observação directa das fachadas da Igreja de Paço de Sousa, é possível verificar a existência de grande número de juntas abertas (Figura 3.17) quer nos portais quer nos paramentos. Estas juntas estão geralmente associadas a remoção das argamassas de cal deterioradas.

Algumas fendas podem igualmente ser observadas (Figura 3.18). A sua origem poderá ter resultado de assentamentos diferenciais das fundações do mosteiro.



Figura 3.17 – Juntas abertas no paramento Sul da fachada Oeste



a) Fendas em silhares do contraforte Sul da fachada Oeste b) Fenda em colunelo do portal Oeste c) Fenda em colunelo do portal Oeste

Figura 3.18 – Fendas do portal e do contraforte Sul da fachada Oeste da Igreja de Paço de Sousa

2.2. INTERIOR DO MONUMENTO

Como primeira impressão do interior, ressalta, logo na entrada, as elevadas alturas alcançadas pela humidade ascensional, atingindo os capitéis nas quatro primeiras colunas junto da entrada e o topo da portada na fachada Oeste. A humidade relativa do ar é muito elevada. A água penetra nas pedras por infiltrações a partir das coberturas e por capilaridade a partir do pavimento, devido ao nível freático situar-se mesmo a poucos metros abaixo das fundações da igreja e do mosteiro. A Figura 3.19 mostra diversas manchas de humidade no lajeado da igreja (Figuras 3.19a e 3.19b) e na parede Norte junto à pedra com a imagem de S. Pedro (Figura 3.19c). Durante o período em que decorreram os

levantamentos cartográficos, a base do segundo colunelo da parede Norte da capela-mor, apresentava gotas de água que escorriam pela superfície (Figura 3.20) em resultado da humidade ascensional.

Os meios arcos do lado Oeste da entrada apresentam-se muito danificados com grande perda de material segundo planos aproximadamente bem definidos, contrastando em absoluto com os restantes meios arcos que se encontram em bom estado de conservação (Figura 3.21). Tal deve-se, eventualmente à eliminação do coro alto durante as intervenções realizadas nos anos trinta do século XX pela Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais.



a) Lajeado da igreja



b) Lajeado da igreja



c) Parede Norte junto à pedra com a imagem de S: Pedro

Figura 3.19 – Manchas de humidade



Figura 3.20 – Gotas de água sobre a superfície do segundo colunelo da parede Norte da capela-mor



a) Arco do lado a Norte da entrada



b) Meio arco do lado a Sul da entrada

Figura 3.21 – Perda de material pétreo nos meios arcos junto à entrada da igreja

Ao contrário do exterior, presencia-se uma grande quantidade de argamassa de cimento nas juntas e sobre as pedras graníticas do interior (Figura 3.22). Em algumas colunas, grande parte destas argamassas encontra-se fissurada e com perda de muitos fragmentos. As pedras de granito circundantes não apresentam fissuras aparentes.



Figura 3.22 – Argamassa de cimento em juntas e sobre pedras de granito

Outro aspecto bem visível é a existência de manchas negras num conjunto de colunas (Figura 3.23). Tais manchas devem ser resultado da ascensão capilar a partir do pavimento e/ou do incêndio de 1927, pouco antes do início da intervenção da Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais nos anos trinta do século XX.



Figura 3.23 – Manchas negras nas colunas

À semelhança do que se efectuou no exterior, realizou-se um levantamento cartográfico das deteriorações de um dos elementos do interior, o segundo colonelo situado na parede Norte da capela-

mor (Figura 3.24). Os diferentes tipos de degradações e as argamassas de cimento foram representadas pelas mesmas cores empregues nas cartografias executadas no exterior da igreja.

Grande parte dos tipos de degradações observados no exterior da Igreja de Paço de Sousa encontra-se presente no interior do monumento.

Exceptuando algumas pedras, a desagregação granular é fraca ou inexistente. As placas e as plaquetas são muito raras.

As paredes Norte, Sul, Oeste e Este da nave e as paredes da capela-mor apresentam eflorescências pulverulentas formadas sobre as pedras graníticas ao longo do limite com as juntas preenchidas com argamassas de cimento e/ou sobre as próprias argamassas (Figuras 3.5, 3.24 e 3.25). A quantidade de eflorescências é maior na capela-mor (Figuras 3.24 e 3.26) devido à grande quantidade de argamassa de cimento aplicada, à forte ascensão capilar e ainda às infiltrações a partir das coberturas.

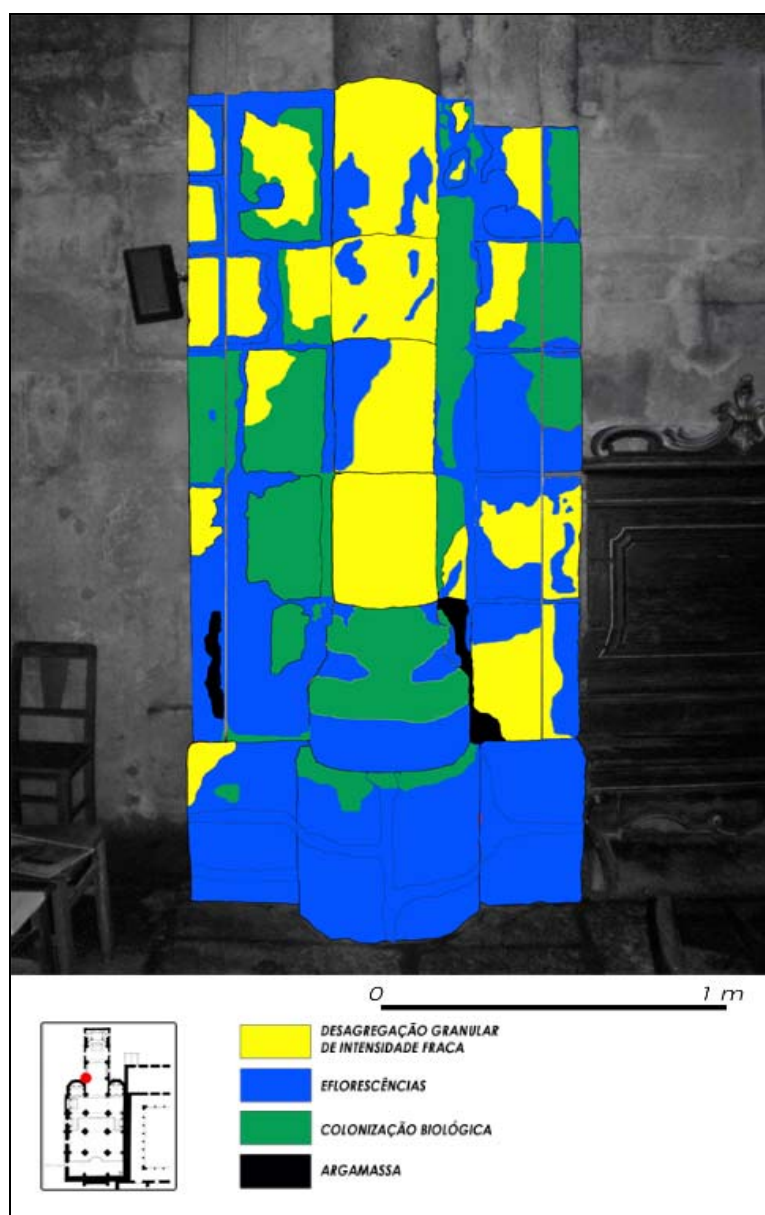


Figura 3.24 – Cartografia das deteriorações da pedra do segundo colunelo da parede Norte da capela-mor



Figura 3.25 – Eflorescências pulverulentas sobre o granito ao longo do limite com as juntas de argamassa de cimento e/ou sobre as próprias argamassas



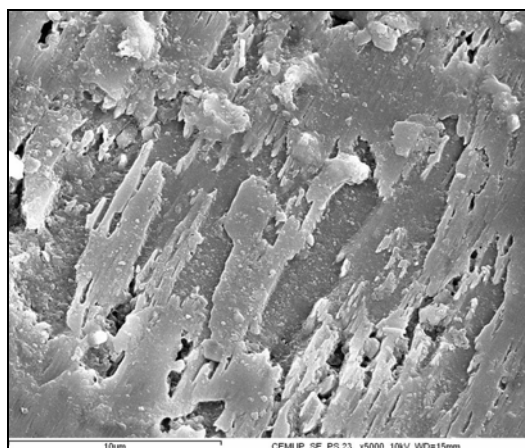
Figura 3.26 – Eflorescências pulverulentas e desenvolvimento de algas no segundo colunelo da parede Norte da capela-mor

Juntamente com as eflorescências, as paredes estão cobertas por manchas de algas desde as coberturas até cerca de sete a oito metros de altura resultantes das infiltrações a partir das coberturas. Fios verdes de algas marcam os percursos das escorrências. A colonização biológica de algas atinge vários metros de altura nas zonas mais baixas e deve-se à ascensão capilar a partir do solo (Figuras 3.24 e 3.26).

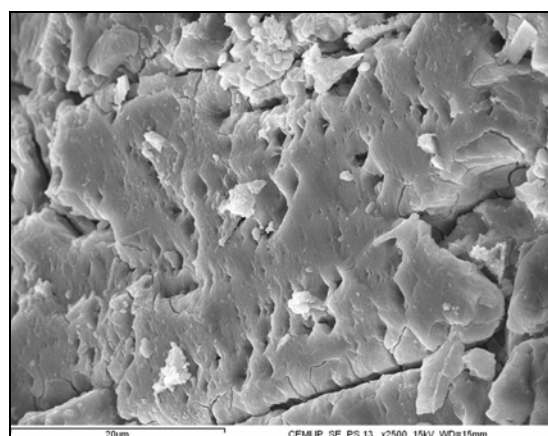
4

ESTUDO MINERALÓGICO DAS DETERIORAÇÕES DA PEDRA

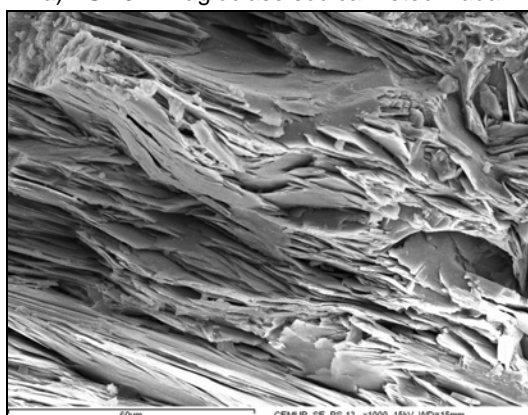
Os estudos por MEV mostraram que alguns dos minerais do granito, designadamente a plagioclase sódica e a biotite, apresentavam sinais evidentes de meteorização (Figura 4.1). As pedras empregues na construção da Igreja de Paço de Sousa exibiam assim meteorização herdada da pedreira na fase de construção do monumento.



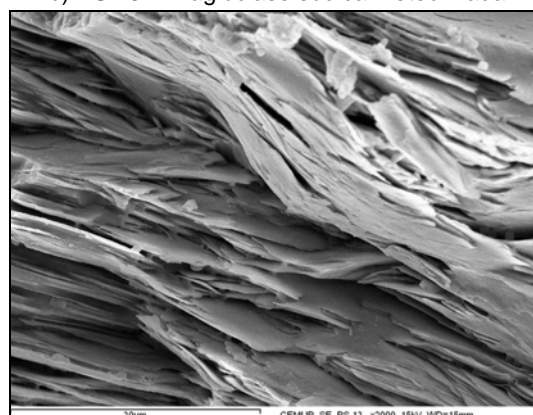
a) PS 23 – Plagioclase sódica meteorizada



b) PS 13 – Plagioclase sódica meteorizada



c) PS 13 – Biotite meteorizada com folhetos em forma de amêndoa

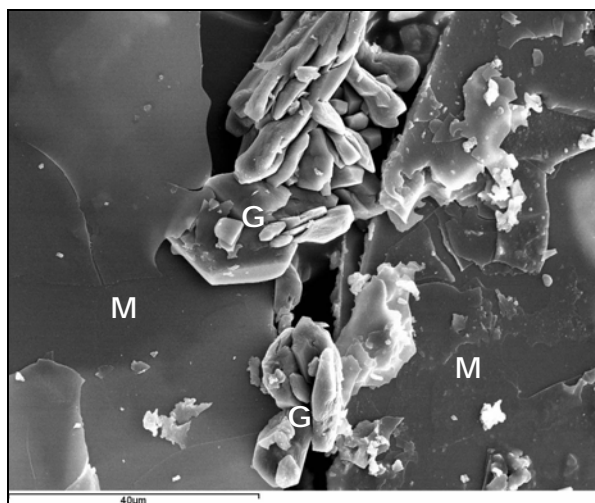


d) PS 13 – Biotite meteorizada com folhetos em forma de amêndoa

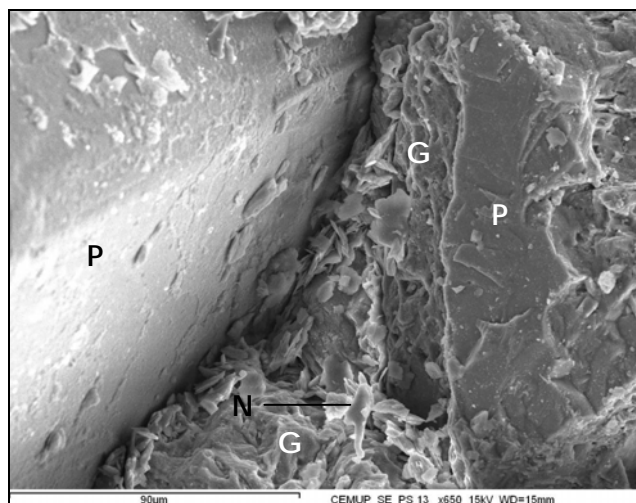
Figura 4.1 – Aspectos de meteorização em minerais constituintes do granito

Este facto já fora anteriormente referido em pedras de Granito do Porto de duas micas do Hospital de Santo António, Torre dos Clérigos, Igreja do Carmo, Palácio do Freixo, Faculdade de Ciências, Igreja da Lapa e Igreja de Santa Maria de Leça (Sequeira Braga et al, 1993, Begonha e Sequeira Braga, 1993, Teles e Begonha, 1999, Begonha e Teles, 2000, Begonha, 1997, 2001, 2005, Begonha e Almeida 2003, Begonha et al., 2004, Moutinho, 2005), no Mosteiro de São Miguel de Refojos (Begonha, 2000), no Mosteiro de São Salvador de Grijó (Begonha e Sequeira Braga, 2000), na Igreja de São Pedro de Rates (Begonha, 2002c, 2002d), na Igreja de São João de Tarouca (Begonha, 2002a), na Igreja de São João Baptista, Matriz de Vila do Conde (Begonha, 2003d), na Igreja de Nossa Senhora da Ajuda, Matriz de Espinho (Begonha, 2003a), no Chafariz de Caminha (Begonha, 2003b), no Convento de São Gonçalo de Amarante (Begonha, 2004a), na Antiga Alfândega de Vila do Conde (Ferreira, 2004), na Igreja de Nossa Senhora da Assunção, Matriz de Caminha (Begonha, 2004b) e na Igreja de Santa Clara em Vila do Conde (Costa Leite, 2008).

O efeito dos sais solúveis é o mais comum na génese das deteriorações da pedra (Begonha, 1997, 2001). Os sais solúveis dissolvem-se na água, formando soluções salinas que se transferem ou ascendem por capilaridade nas edificações, cristalizando nas zonas de maior evaporação das construções. As variações dos teores de água líquida e de humidade fazem com que os sais cristalizem, se hidratam e se dissolvam, repetindo este ciclo até à destruição, por vezes na íntegra do material pétreo. Como tal, a acção destes minerais é tanto mais destrutiva quanto maior a sua solubilidade e higroscopicidade, quanto maiores as forças de cristalização que desenvolvem no seu processo de crescimento bem como quanto maior o número de ocorrências de ciclos de cristalização/dissolução ou cristalização/deliquescência. A acção dos minerais de sais solúveis na fissuração dos minerais constituintes do granito é evidenciada na Figura 4.2 onde a cristalização do gesso é responsável pelo afastamento e fissuração dos folhetos de moscovite (Figura 4.2a) e o gesso e a nitratite pelo afastamento de fissura na plagioclase sódica.



a) PS 8 – Cristalização do gesso (G) entre folhetos de moscovite (M)



b) PS 13 – Cristais de gesso (G) e de nitratite (N) em fissura na plagioclase sódica (P)

Figura 4.2 – Cristalização de minerais de sais solúveis na rede porosa do granito

Segundo Arnold (1984), a ocorrência de sais solúveis nos materiais porosos utilizados na construção de edifícios e monumentos, sob a forma de soluções aquosas ou de cristais nos poros ou nas superfícies, está fortemente ligada à migração da água nas paredes, aparecendo concentrados nos locais onde a água se move numa direcção e se evapora, caso das zonas mais altas de humidade ascensional, lateralmente a zonas onde a água corre ao longo da superfície e zonas onde a água atinge a superfície e se evapora. Em qualquer destas zonas, os sais precipitam quando a solução se tornam saturadas relativamente a um sal particular.

Arnold e Kueng (1985) e Arnold e Zehnder (1985, 1987, 1989) mostraram que a maior parte dos hábitos cristalinos dos minerais de sais solúveis não são estáveis, transformando-se durante o processo de envelhecimento. Assim, devido às condições de cristalização no interior da rede porosa do granito, os minerais de sais solúveis aparecem não só sob a forma de cristais euédricos e isomórficos, cristais subédricos ou anédricos, mas também sob a forma de pêlos ou de cristais de hábitos prismático, acicular, tabular e lamelar, formas e hábitos que se muitas vezes se afastam dos atribuídos a esses minerais pela cristalografia clássica, exibindo ainda frequentemente aspectos muito diferenciados de figuras de dissolução.

Os estudos efectuados por MEV permitiram identificar diversos minerais de sais solúveis, nomeadamente:

- cloretos – halite (NaCl) e cloreto de chumbo;
- sulfatos – gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);
- nitratos – nitratite (NaNO_3) e niter (KNO_3);
- carbonatos – calcite (CaCO_3), trona ($\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e gaylussite ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$);
- fosfatos – fosfato de cálcio.

No Quadro 4.1, apresentam-se as paragénese dos minerais de sais solúveis identificados por microscopia electrónica de varrimento em cada tipo de deterioração e em cada local estudado.

Quadro 4.1 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV

DETERIORAÇÃO	LOCALIZAÇÃO	MINERAIS DE SAIS SOLÚVEIS
DESAGREGAÇÃO GRANULAR	Portal Oeste	Gesso + halite + nitratite
		Halite + gesso \pm fosfato de cálcio
		Halite + nitratite
		Gesso
	Parede Norte da capela-mor	Niter + trona + gaylussite + halite
		Nitratite + gesso
EFLORESCÊNCIAS PULVERULENTAS	Portal Oeste	Gesso + calcite
		Gesso
		Calcite
	Parede Norte da capela-mor	Gesso \pm calcite
		Calcite + cloreto de chumbo
		Calcite
PLACAS	Portal Oeste	Gesso + nitratite \pm halite
		Gesso

1. DESAGREGAÇÃO GRANULAR

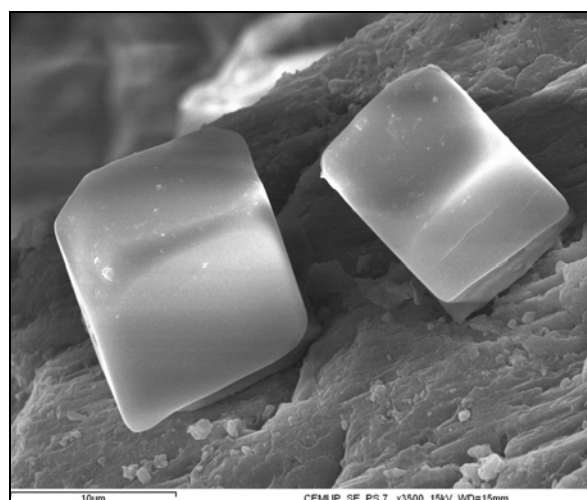
1.1. EXTERIOR – PORTAL OESTE

As amostras PS 6, PS 7, PS 8 e PS 27 de desagregação granular recolhidas no exterior foram analisadas por MEV. No Quadro 4.2, mostram-se os minerais de sais solúveis identificados em cada amostra, nomeadamente a halite, a nitratite, gesso e raros cristais de fosfato de cálcio em que não foi possível determinar por MEV a sua composição química exacta. Identificaram-se ainda cinzas volantes nas amostras PS 6 e PS 8. Na amostra PS 8, detectou-se a presença de óxido de chumbo. Nas Figuras 4.3 a 4.7 apresentam-se as imagens e espectros dos sais identificados em cada amostra.

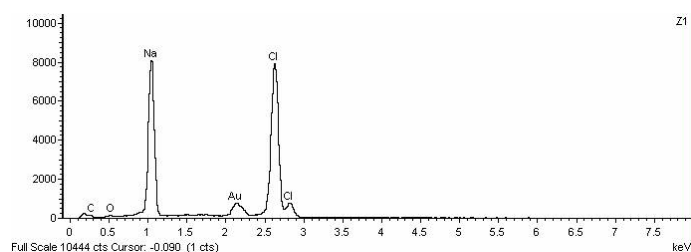
A Figura 4.8 mostra três tipos distintos de cinzas volantes associadas à poluição do ar e a Figura 4.9 óxido de chumbo detectado numa das amostras e imagens de diatomáceas.

Quadro 4.2 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de desagregação granular no portal Oeste

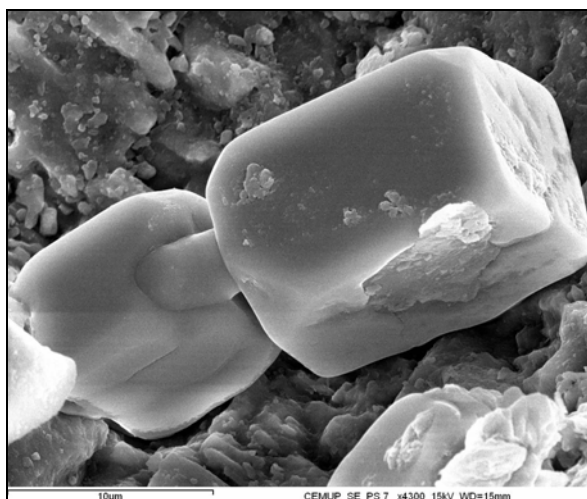
DETERIORAÇÃO	AMOSTRA	COTA (m)	MINERAIS DE SAIS SOLÚVEIS
Desagregação granular	PS 6	1,40 – 1,65	Gesso + halite ± nitratite
	PS 7	2,15 – 2,35	Halite + nitratite + gesso ± fosfato de cálcio
	PS 8	3,00 – 3,25	Gesso
	PS 27	1,80 – 1,90	Halite + nitratite



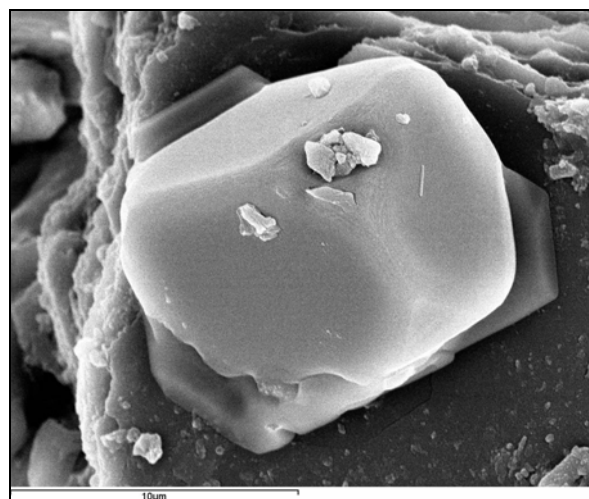
a) PS 7 – Cristais euédricos com as formas simples cubo + octaedro



b) PS 7 – Halite – Espectro

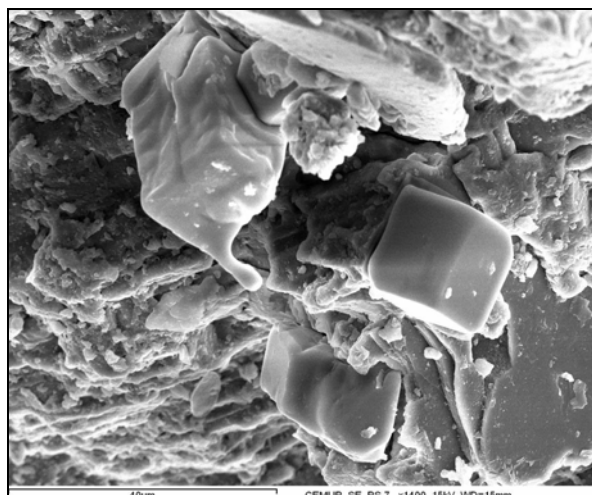


c) PS 7 – Cristais paralelepípedos com as formas simples cubo + octaedro e figuras de dissolução

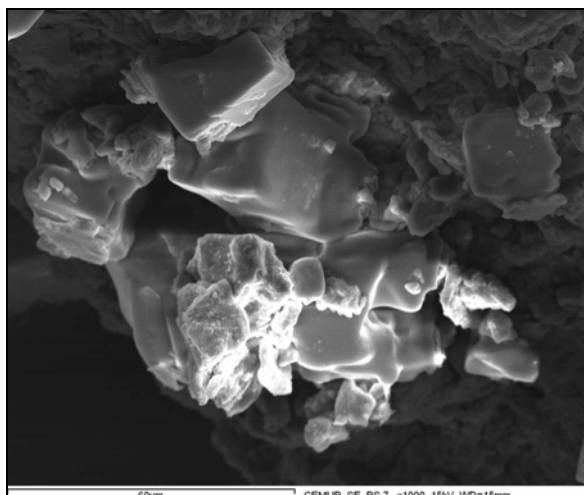


d) PS 27 – Cristal com as formas simples cubo + octaedro

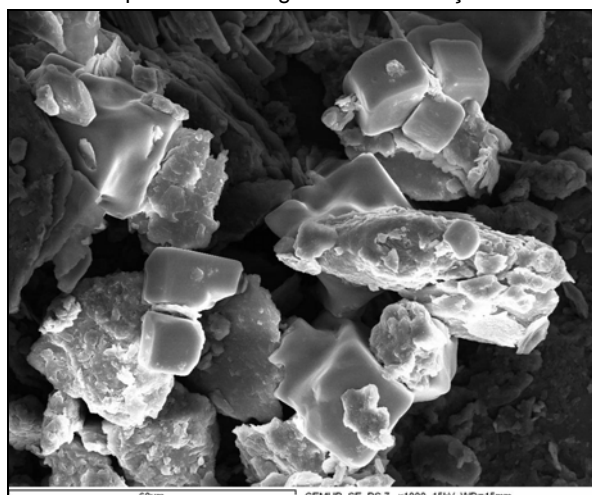
Figura 4.3 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens e espectro de halite obtidos por MEV



a) PS 7 – Conjunto de cristais cúbicos e prismáticos apresentando figuras de dissolução



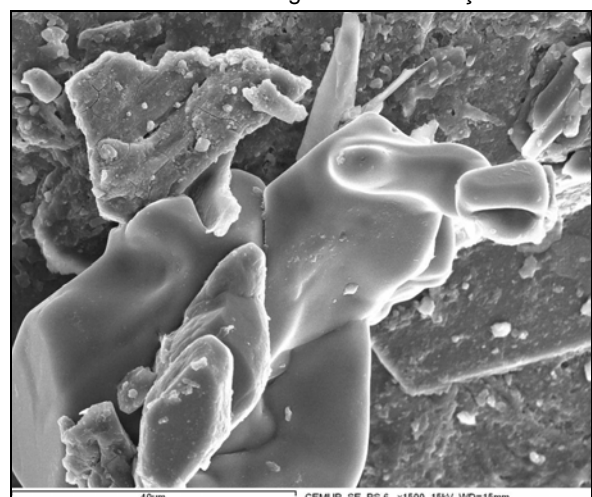
b) PS 7 – Cristais cúbicos e cristais subédricos ou anédricos com figuras de dissolução



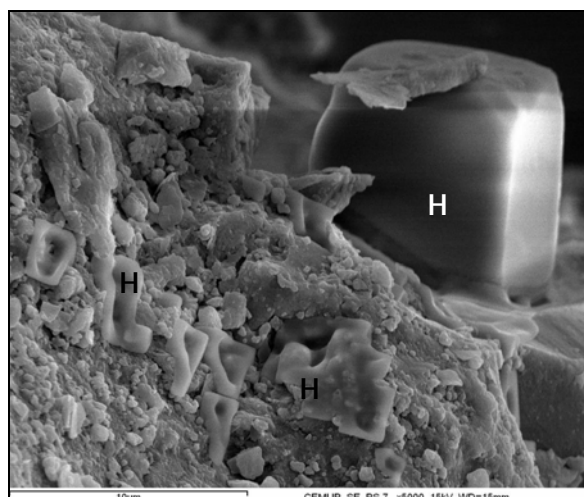
c) PS 7 – Cristais cúbicos subédricos e cristais subédricos com figuras de dissolução



d) PS 6 – Cristais apresentando figuras de dissolução

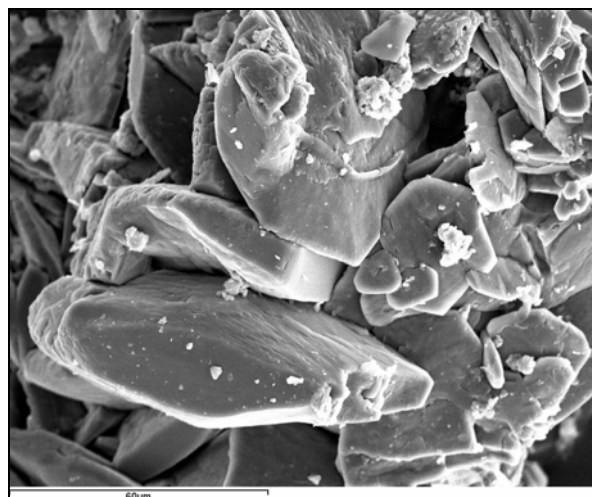


e) PS 6 – Cristais apresentando figuras de dissolução

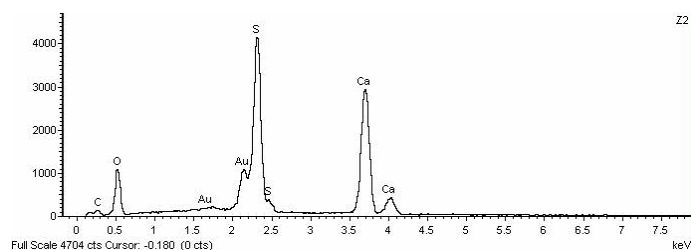


f) PS 7 – Cristal subédrico cúbico e cristais muito dissolvidos (H)

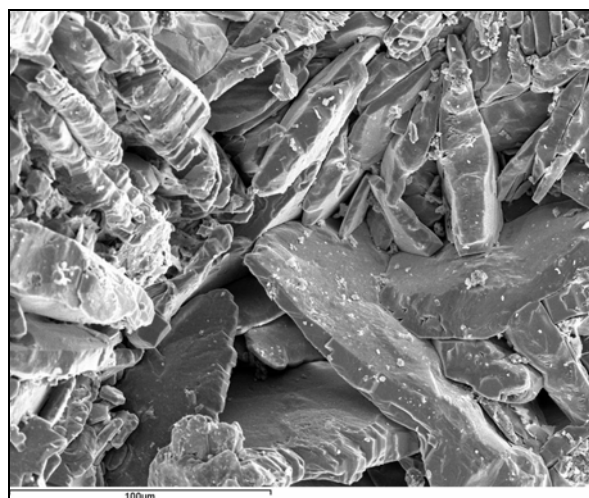
Figura 4.4 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens de halite obtidas por MEV



a) PS 8 – Cristais tabulares subédricos em forma de ponta de lança



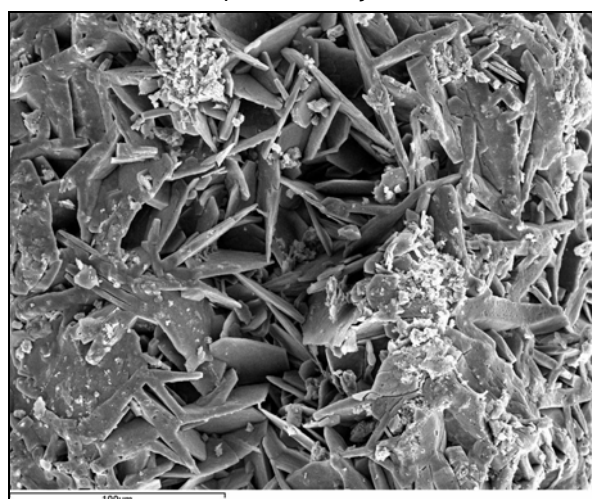
b) PS 8 – Gesso – Espectro



c) PS 8 – Cristais subédricos tabulares e em forma de ponta de lança



d) PS 8 – Cristais euédricos mais ou menos isométricos e cristais subédricos em forma de ponta de lança

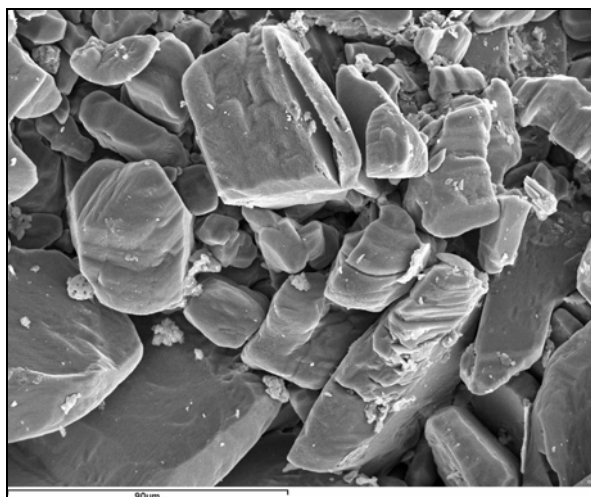


e) PS 8 – Cristais tabulares e lamelares de bordos arredondados entrecruzados, formando rosas do deserto

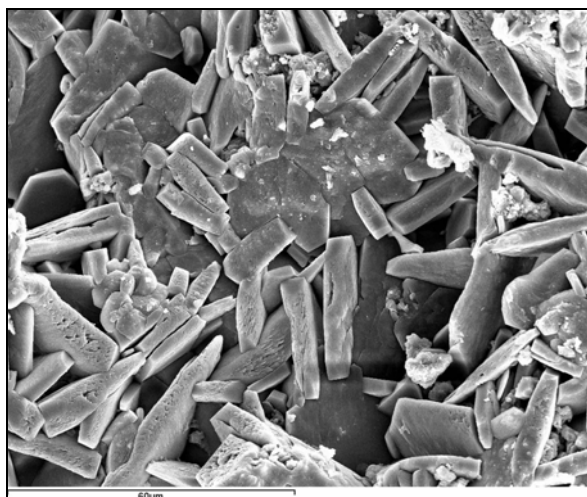


f) PS 8 – Cristais lamelares de bordos arredondados, formando rosas do deserto

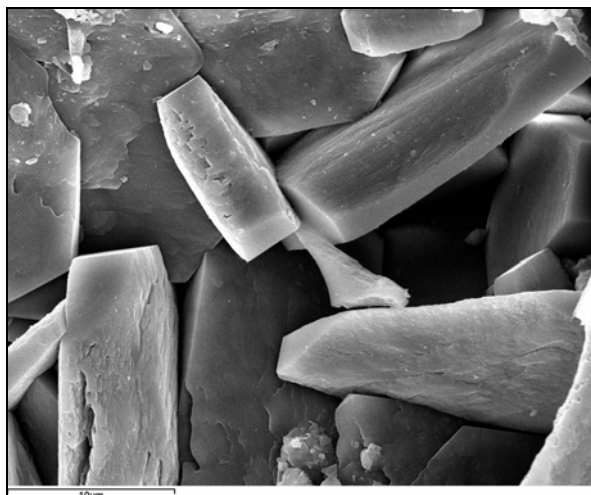
Figura 4.5 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens e espectro de gesso obtidos por MEV



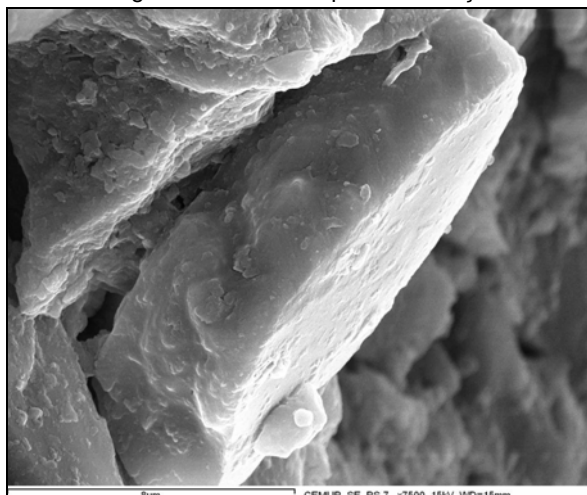
a) PS 8 – Conjunto de cristais de gesso anédricos e subédricos mais ou menos isométricos



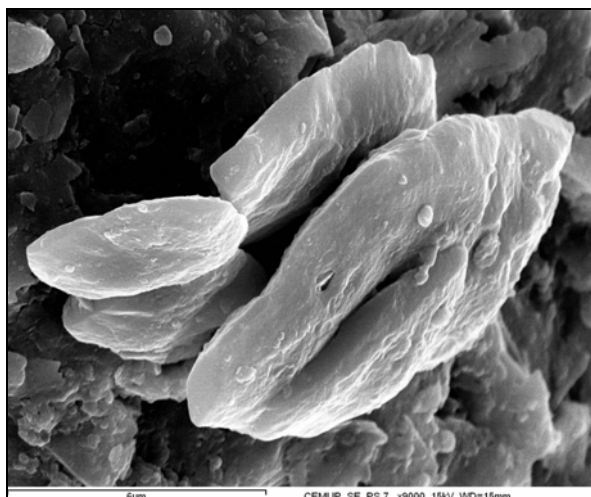
b) PS 8 – Conjunto de cristais de gesso subédricos tabulares, alguns em forma de ponta de lança



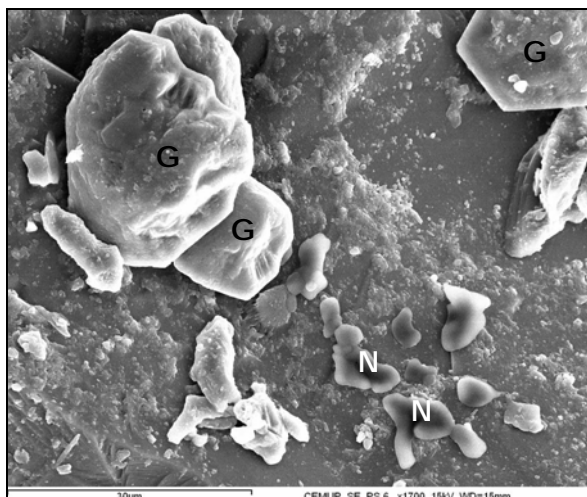
c) PS 8 – Cristais de gesso subédricos tabulares



d) PS 8 – Cristal de gesso subédrico tabular de bordos arredondados

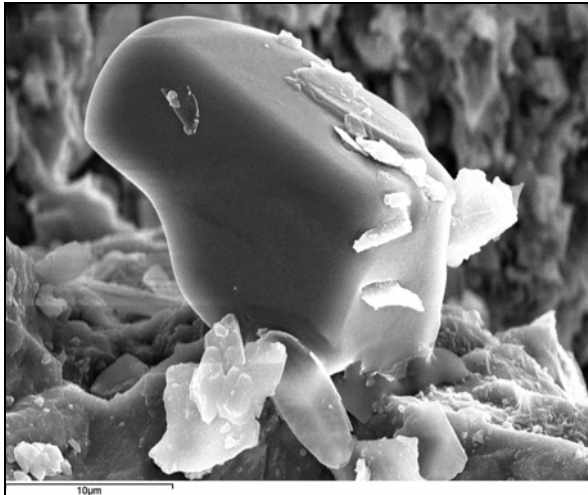


e) PS 8 – Cristais de gesso anédricos tabulares sobre plagioclase sódica

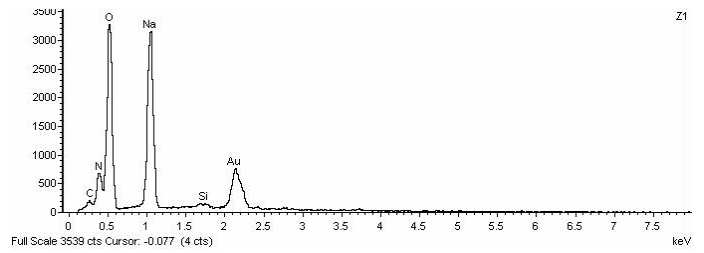


f) PS 6 – Cristal de gesso tabular com hábito pseudo-hexagonal (G), cristais subédricos mais ou menos isométricos de gesso (G) e cristais anédricos com figuras de dissolução de nitratite (N)

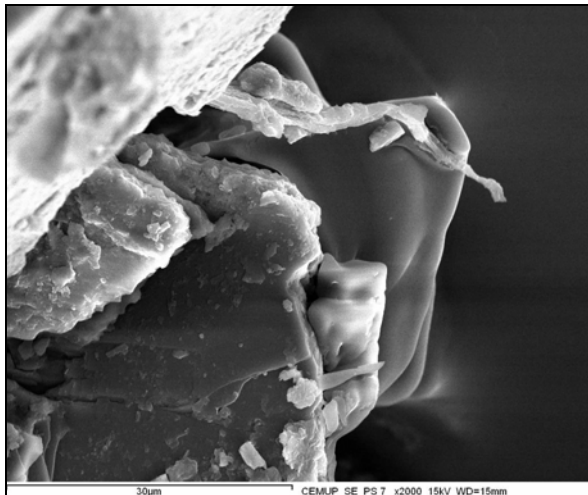
Figura 4.6 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens de gesso e da nitratite obtidas por MEV



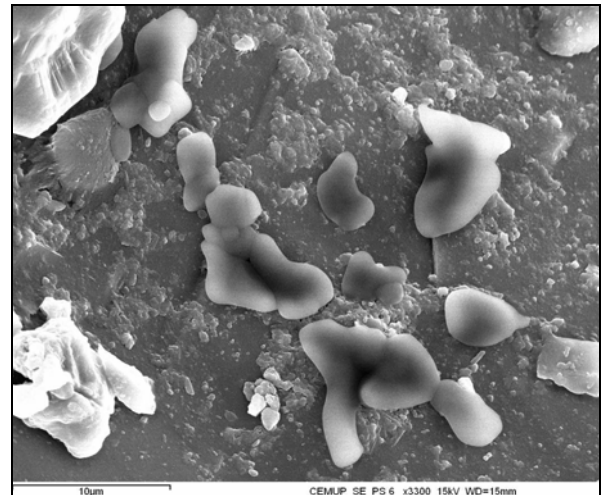
a) PS 27 – Cristal de nitratite subédrico com figuras de dissolução sobre quartzo e duas diatomáceas



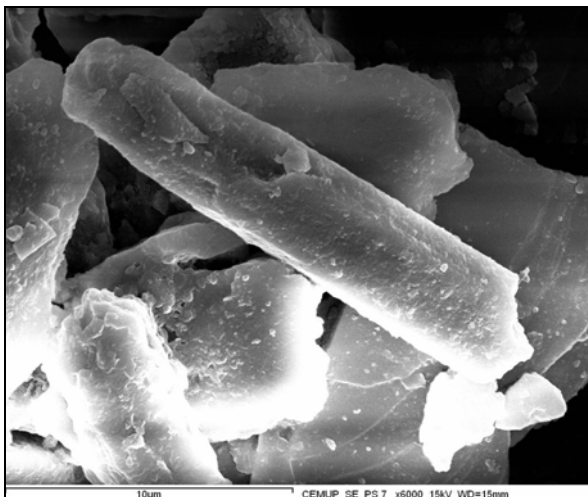
b) PS 27 – Nitratite – Espectro



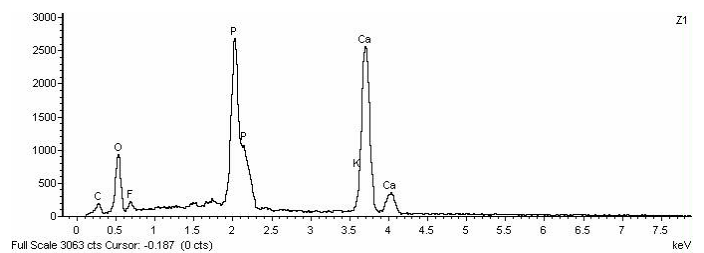
c) PS 7 – Cristais anédricos de nitratite integralmente delimitados por figuras de dissolução



d) PS 6 – Cristais anédricos de nitratite integralmente delimitados por figuras de dissolução

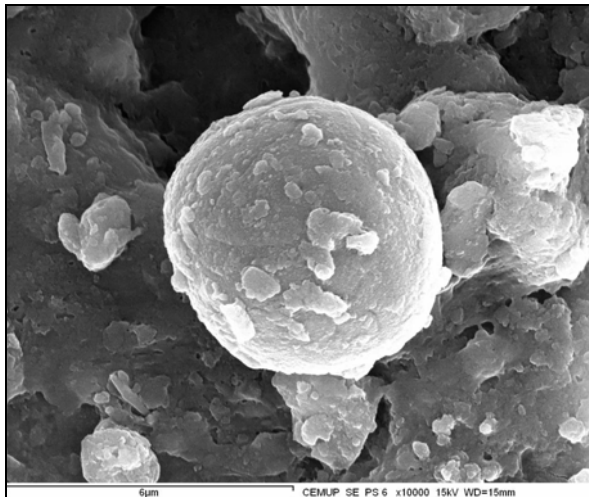


e) PS 7 – Cristal prismático subédrico de fosfato de cálcio

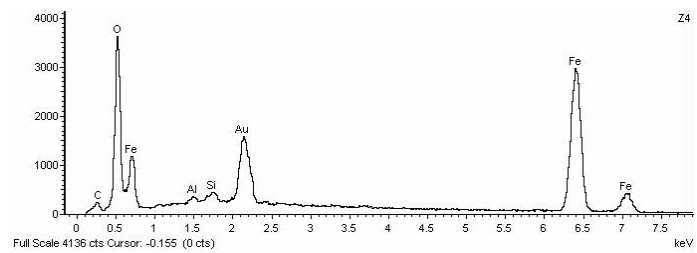


f) PS 7 – Fosfato de cálcio – Espectro

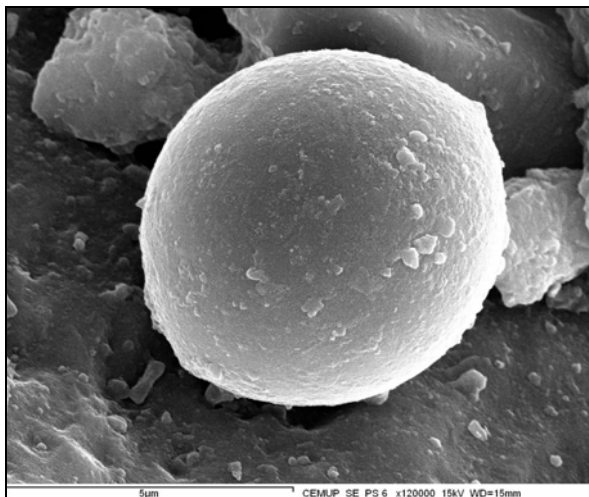
Figura 4.7 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens e espectros de nitratite e fosfato de cálcio obtidos por MEV



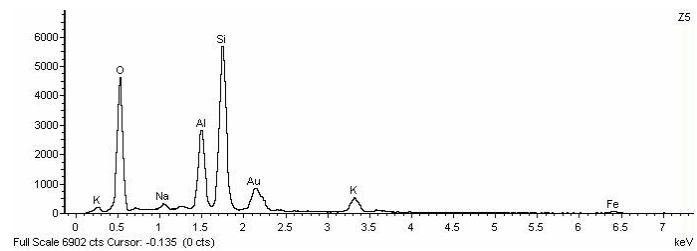
a) PS 6 – Cinza volante constituída por óxido de ferro



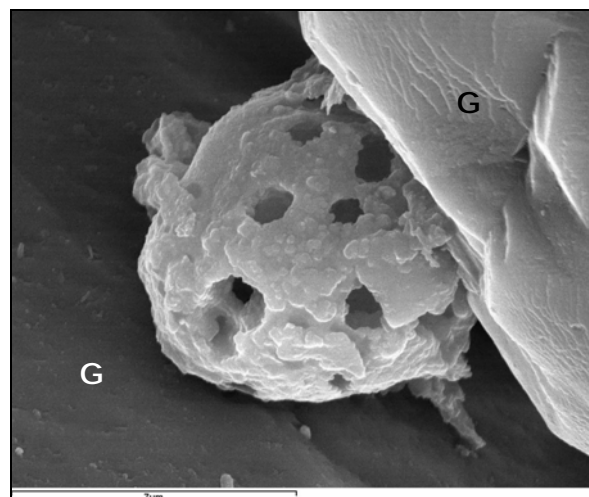
b) PS 6 – Cinza volante constituída por óxido de ferro – Espectro



c) PS 27 – Cinza volante de superfície lisa constituída por silício e alumínio

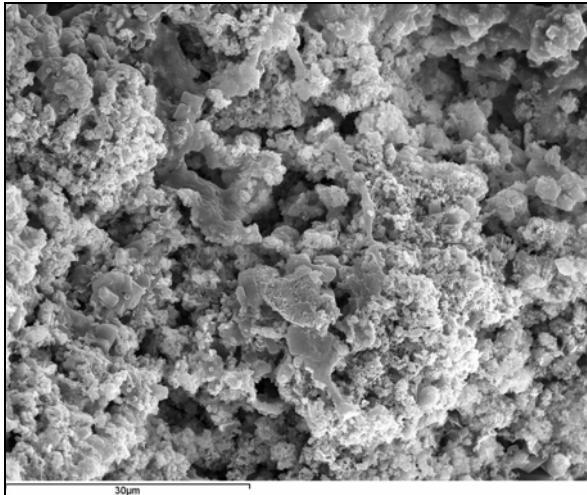


d) PS 8 – Cinza volante de superfície lisa – Espectro

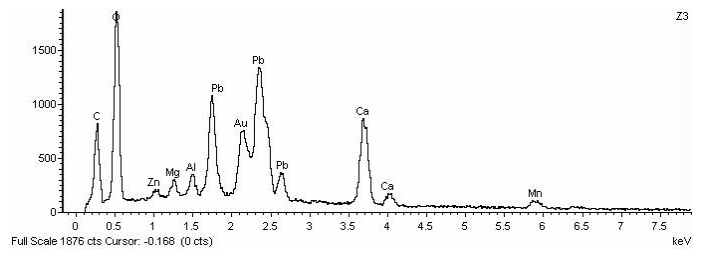


e) PS 8 – Cinza volante porosa de natureza carbonosa entre cristais lamelares de gesso (G)

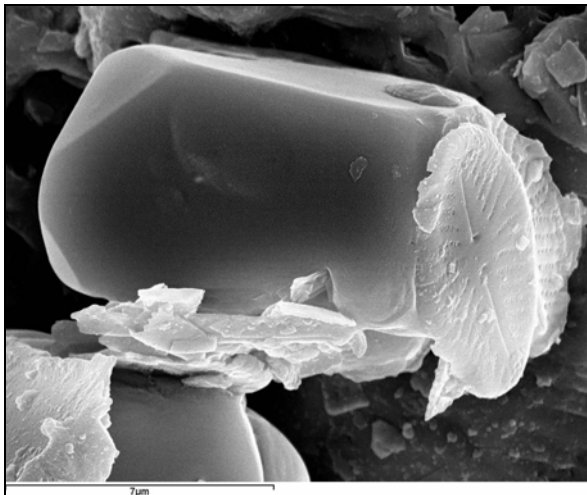
Figura 4.8 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens e espectros de cinzas volantes obtidos por MEV



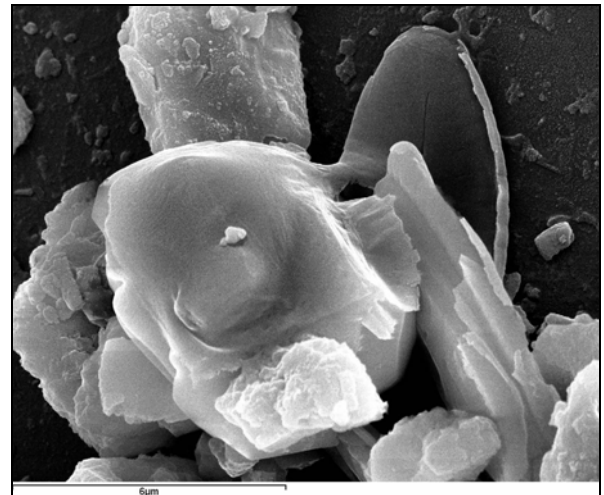
a) PS 8 – Agregado pulverulento constituído por óxido de chumbo e carbonato de cálcio



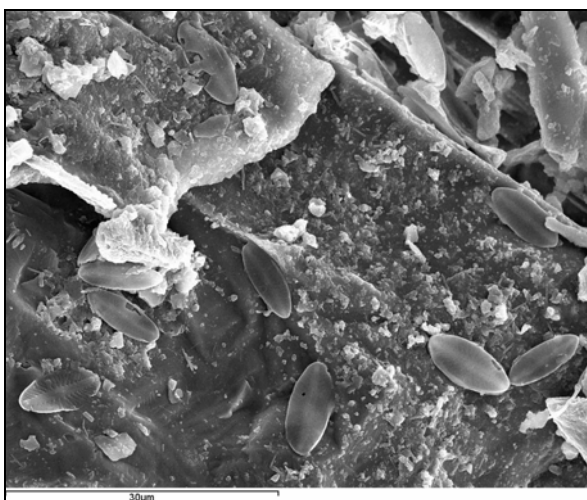
b) PS 8 – Espectro do agregado pulverulento



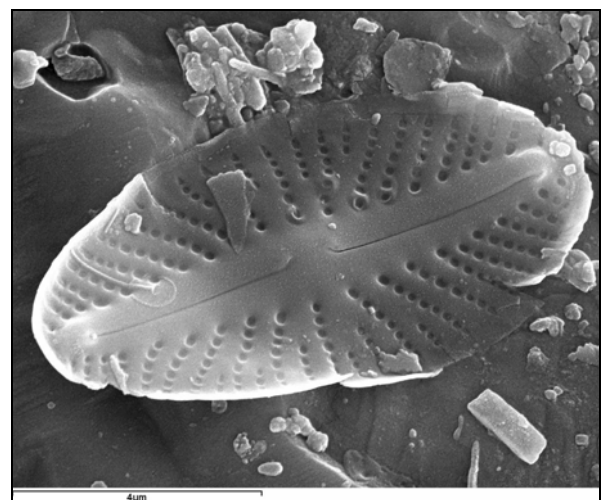
c) PS 27 – Diatomácea sobre cristal de halite com as formas simples cubo + octaedro



d) PS 27 – Diatomácea sobre cristal anédrico de halite



e) PS 27 – Conjunto de diatomáceas



f) PS 27 – Diatomácea

Figura 4.9 – Desagregação granular no portal Oeste. Imagens e espectro de agregado pulverulento de óxido de chumbo e carbonato de cálcio e imagens de diatomáceas obtidos por MEV

A halite apresenta-se sob a forma de cristais euédricos com as formas simples cubo+octaedro (Figuras 4.3a, 4.4a), cristais subédricos com as formas simples cubo+octaedro (Figuras 4.3c, 4.3d), cristais subédricos cúbicos (Figuras 4.4b, 4.4c, 4.4f), cristais subédricos prismáticos (Figuras 4.4a, 4.4b), cristais subédricos exibindo figuras de dissolução (Figura 4.4) e cristais anédricos com figuras de dissolução (Figuras 4.4b, 4.4d, 4.4e).

O gesso mostra-se como cristais subédricos tabulares em forma de ponta de lança (Figuras 4.5a, 4.5c, 4.5d, 4.6b), cristais subédricos tabulares (Figuras 4.5a, 4.5c, 4.5d, 4.5, 4.6b, 4.6c), cristais euédricos mais ou menos isométricos (Figura 4.5d), cristais lamelares de bordos arredondados, formando rosas do deserto (Figuras 4.5d, 4.5e, 4.5f), cristais subédricos ou anédricos mais ou menos isométricos (Figuras 4.6a, 4.6f), cristais subédricos tabulares de bordos arredondados (Figura 4.6d), cristais anédricos tabulares (Figura 4.6e) e cristais tabulares de hábito pseudo-hexagonal (Figura 4.6f).

A nitratite cristaliza em muito menor quantidade do que a halite e o gesso, aparecendo como cristais subédricos com figuras de dissolução (Figura 4.7a) e sob a forma de cristais anédricos integralmente delimitados por figuras de dissolução (Figuras 4.6f, 4.7c, 4.7d).

Observaram-se ainda alguns cristais prismáticos subédricos constituídos por fosfato de cálcio na amostra PS 7 (Figura 4.7e). Não foi possível classificá-los, uma vez que a microscopia electrónica de varrimento não permite distinguir minerais com diferentes graus de hidratação e, pelo facto de serem em número muito reduzido, não se justificar a difracção de raios X, dado que a mesma não detecta os picos que possibilitam a sua identificação.

Identificaram-se ainda raras cinzas volantes de composição diversa. Uma cinza volante de superfície rugosa constituída por óxido de ferro (Figura 4.8a), uma cinza volante de superfície lisa, essencialmente constituída por silício e alumínio (Figura 4.8c) e uma cinza volante porosa de natureza carbonosa (Figura 4.8e). Os dois últimos tipos de cinzas volantes partículas estão associados à queima incompleta de combustíveis fósseis como o carvão, o petróleo ou seus derivados. A cinza volante de óxido de ferro poderá estar ligada à queima de sucata na Siderurgia Nacional localizada no concelho da Maia.

Detectou-se ainda a presença de óxido de chumbo na amostra PS 8 (Figura 4.9a). A presença deste composto químico poderá ter eventualmente resultado da aplicação de tintas ou de produtos de conservação anteriormente aplicados (consolidantes).

A colonização biológica é pouco intensa. Foram observadas diatomáceas na amostra PS 27 (Figuras 4.7a, 4.9c, 4.9d, 4.9e, 4.9f), frequentemente sobre ou próximo de alguns minerais de sais solúveis, nomeadamente a nitratite (Figura 4.7a) e a halite (Figura 4.9c, 4.9d).

1.2. INTERIOR – PAREDE NORTE DA CAPELA-MOR

No interior da igreja, analisaram-se por MEV as amostras de desagregação granular PS 21 e PS 23. No Quadro 4.3 estão indicados os minerais de sais solúveis identificados em cada amostra, nomeadamente o niter, a trona, a gaylussite, a halite, a nitratite e o gesso. As Figuras 4.10 a 4.14 apresentam imagens e espectros dos minerais de sais solúveis identificados por MEV.

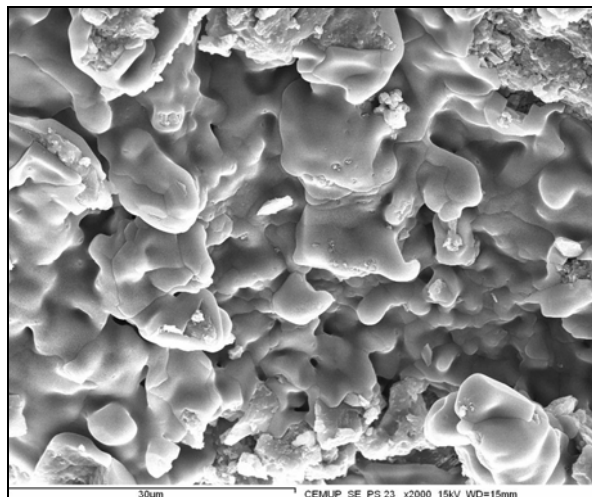
Quadro 4.3 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de desagregação granular na parede Norte da capela-mor.

DETERIORAÇÃO	AMOSTRA	COTA (m)	MINERAIS DE SAIS SOLÚVEIS
Desagregação granular	PS 21	4,55 – 4,70	Niter + trona + gaylussite + halite
	PS 23	3,15 – 3,35	Nitratite + gesso

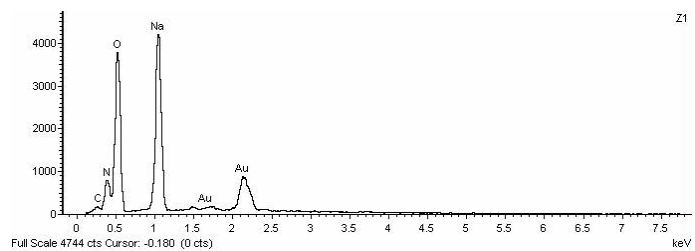
A nitratite aparece sob a forma de cristais anédricos integralmente delimitados por figuras de dissolução (Figuras 4.10a, 4.10c), cristais aciculares (Figuras 4.10d, 4.10f, 4.11a, 4.11c, 4.11d), cristais em forma de pêlo (Figuras 4.10d, 4.10e, 4.10f, 4.11a, 4.11b, 4.11c, 4.11d), cristais subédricos prismáticos com figuras de dissolução (Figura 4.11b), cristais anédricos mais ou menos isométricos totalmente delimitados por figuras de dissolução (Figura 4.11b) e de um filme constituído também por halite, evidenciando figuras de dissolução (Figura 4.14d).

O gesso exhibe-se como cristais subédricos tabulares (Figuras 4.11c, 4.11d, 4.12a, 4.12c, 4.12d), cristais subédricos tabulares em forma de ponta de lança (Figuras 4.12d), cristais tabulares anédricos (Figuras 4.12a) e cristais lamelares subédricos (Figura 4.12c, 4.12e, 4.12f).

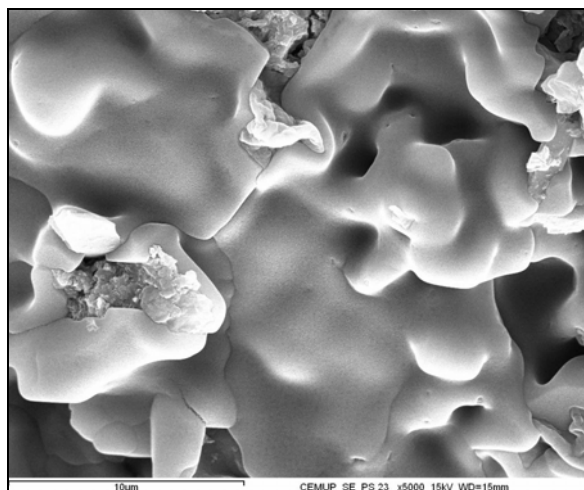
O niter surge como cristais anédricos integralmente delimitados por figuras de dissolução (Figuras 4.13a, 4.13c).



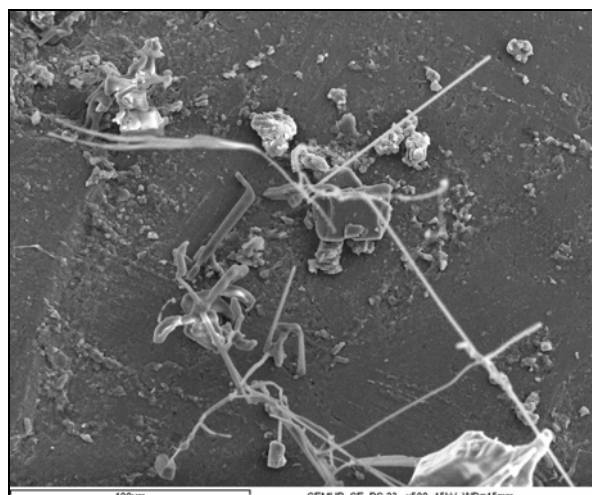
a) PS 23 – Cristais com figuras de dissolução sobre plagioclase sódica



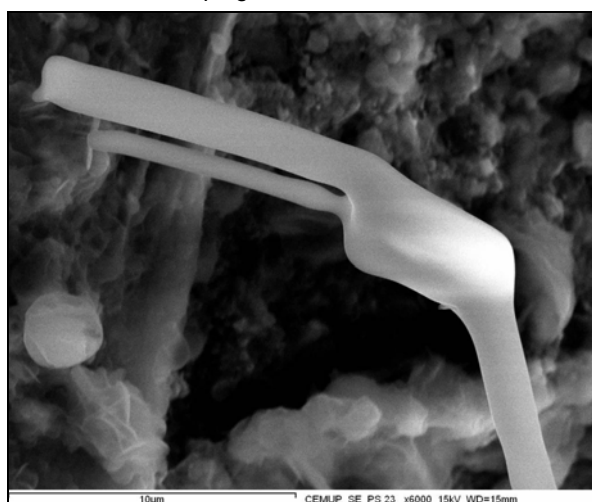
b) PS 23 – Nitratite – Espectro



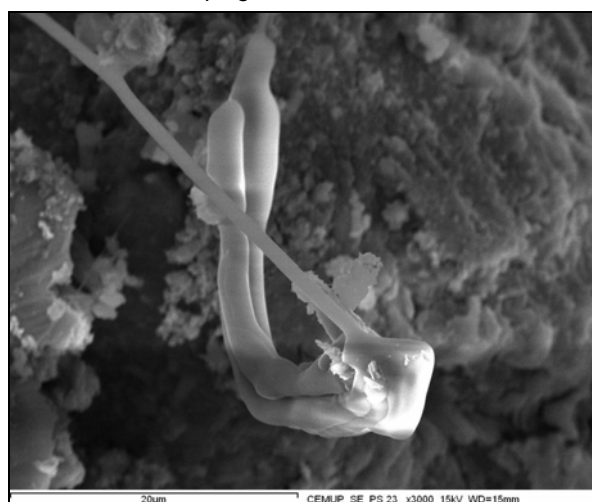
c) PS 23 – Cristais com figuras de dissolução sobre plagioclase sódica



d) PS 23 – Cristais aciculares e em forma de pêlo sobre plagioclase sódica

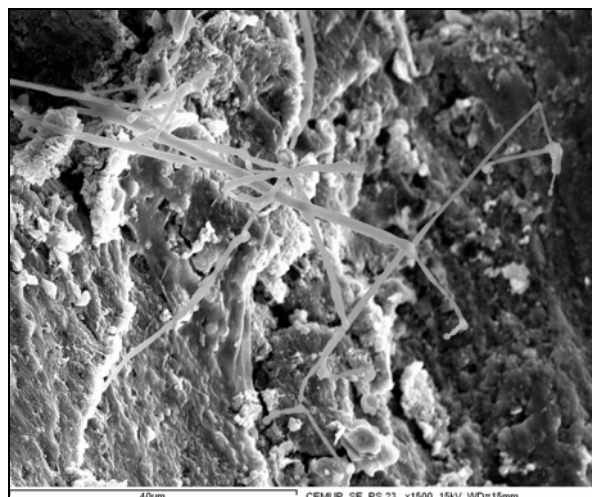


e) PS 23 – Cristais em forma de pêlo exibindo figuras de dissolução

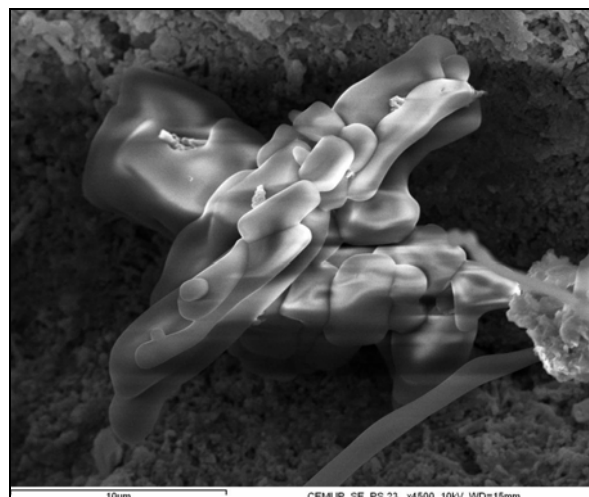


f) PS 23 – Cristal acicular e cristais em forma de pêlo

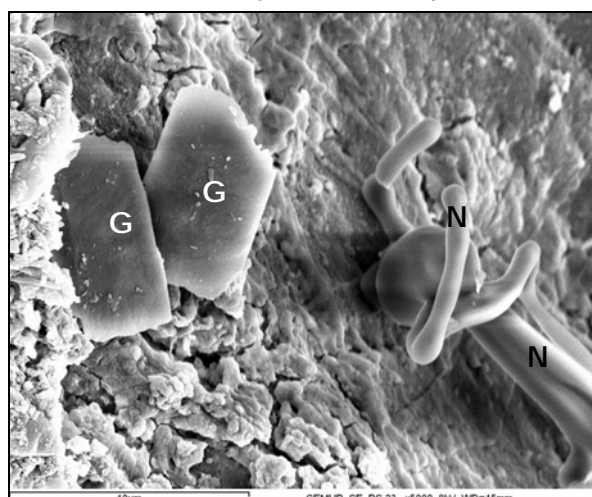
Figura 4.10 – Desagregação granular na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectro da nitratite obtidos por MEV



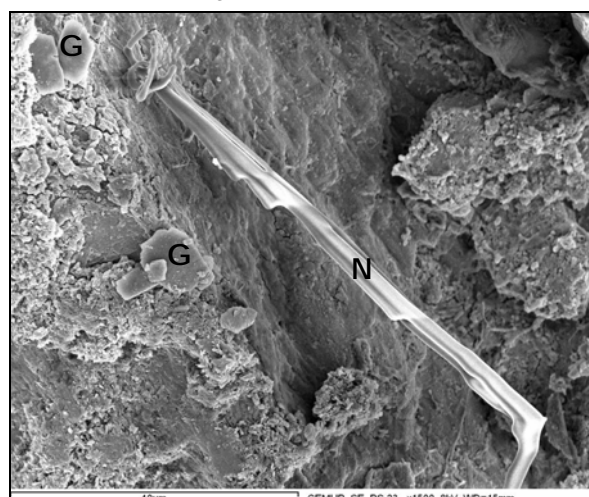
a) PS 23 – Cristais aciculares de nitratite em forma de pelo com figuras de dissolução



b) PS 23 – Cristais de nitratite com figuras de dissolução, anédricos e alguns com tendência isométrica



c) PS 23 – Cristal acicular de nitratite (N), cristais em forma de pêlo de nitratite (N) e cristais de gesso subédricos tabulares (G)



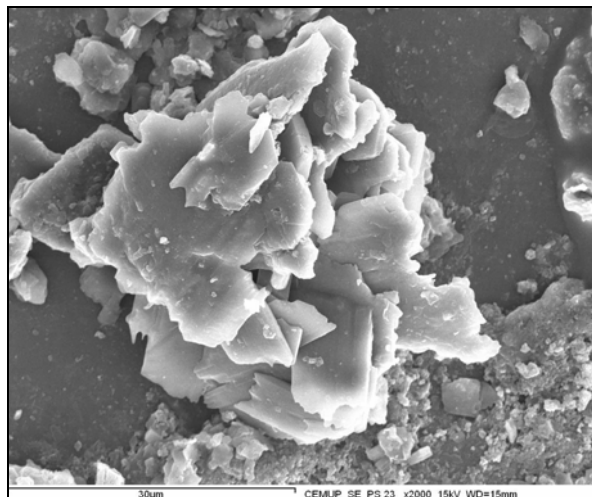
d) PS 23 – Cristal acicular de nitratite (N), cristais em forma de pêlo de nitratite (N) e cristais de gesso subédricos tabulares (G)

Figura 4.11 – Desagregação granular na parede Norte da capela-mor. Imagens de nitratite e do gesso obtidas por MEV

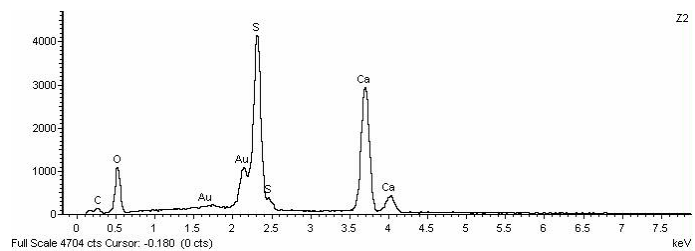
A gaylussite mostra-se como cristais subédricos, evidenciando algumas figuras de dissolução (Figuras 4.13d, 4.13e, 4.14c).

A trona revela-se sob a forma de agregados radiais de cristais aciculares (Figuras 4.14a, 4.14c).

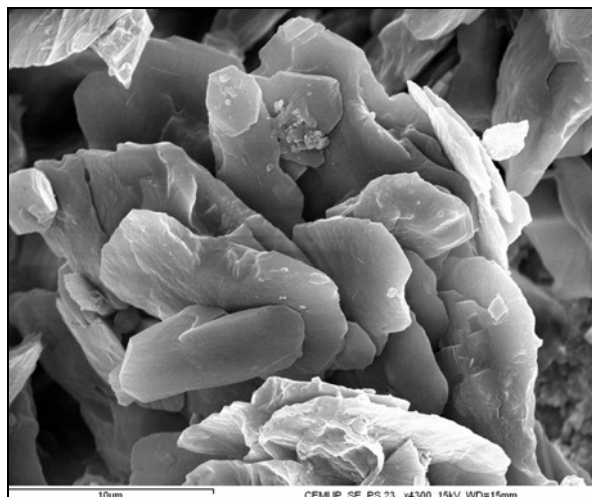
A halite é rara e apenas foi detectada na amostra PS 21, apresentando-se sob a forma de um filme constituído também por nitratite, evidenciando figuras de dissolução (Figura 4.14d).



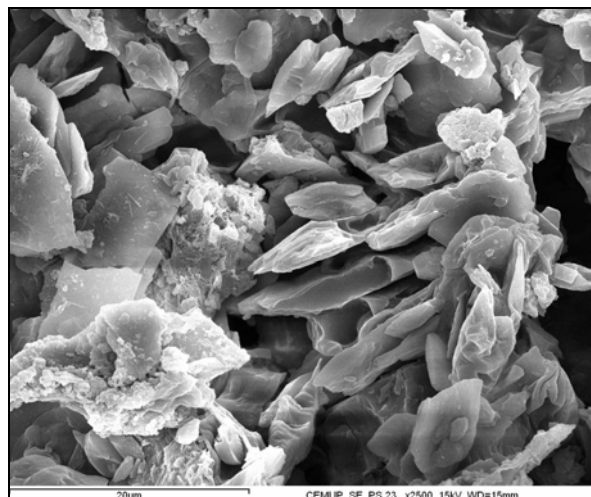
a) PS 23 – Cristais tabulares sobre moscovite



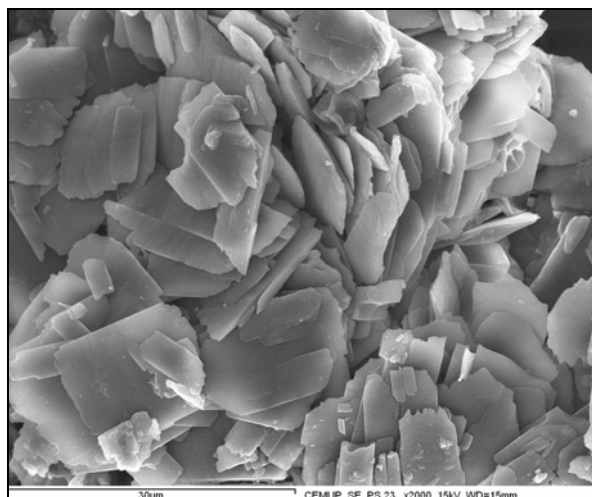
b) PS 23 – Gesso – Espectro



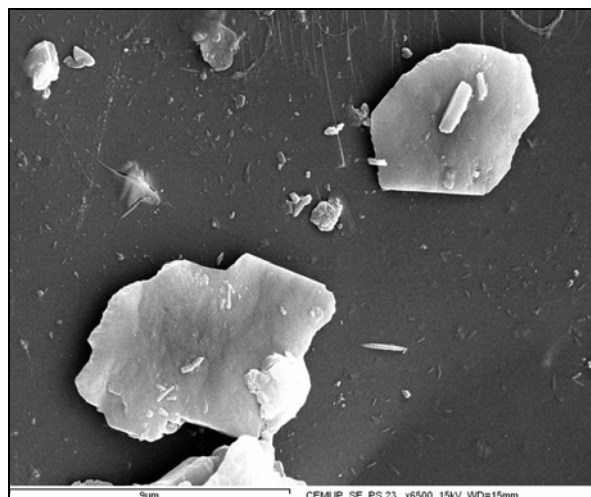
c) PS 23 – Cristais tabulares e lamelares subédricos



d) PS 23 – Cristais tabulares, alguns exibindo forma em ponta de lança

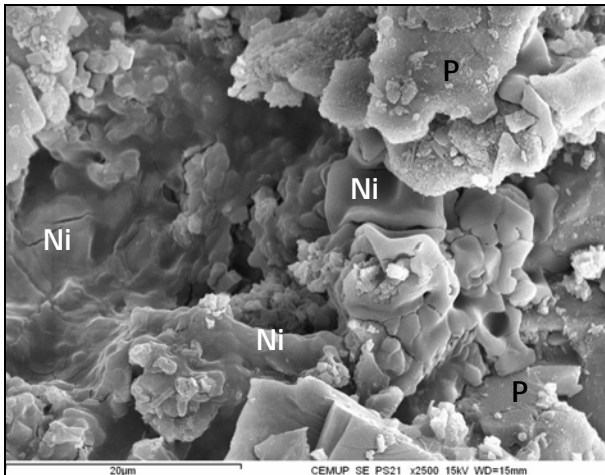


e) PS 23 – Cristais lamelares

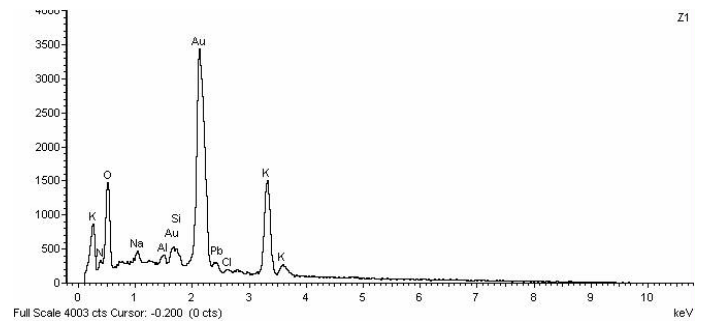


f) PS 23 – Cristais lamelares subédricos sobre quartzo

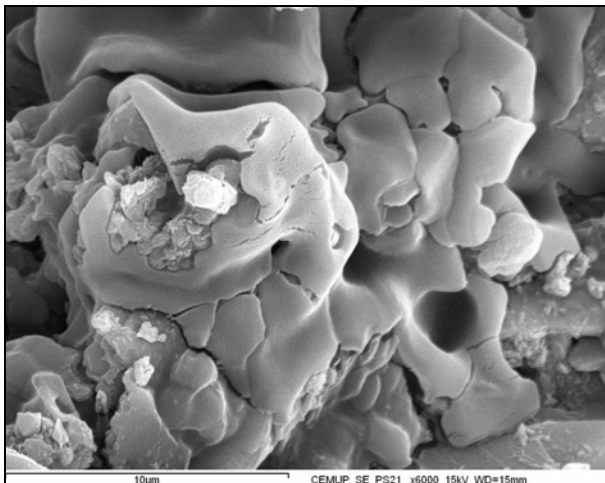
Figura 4.12 – Desagregação granular na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectro de gesso obtidos por MEV



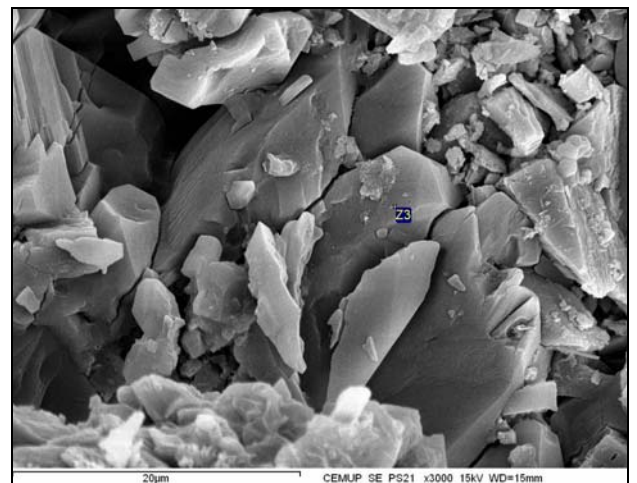
a) PS 21 – Cristais anédricos de niter (Ni) com figuras de dissolução sobre plagioclase sódica (P)



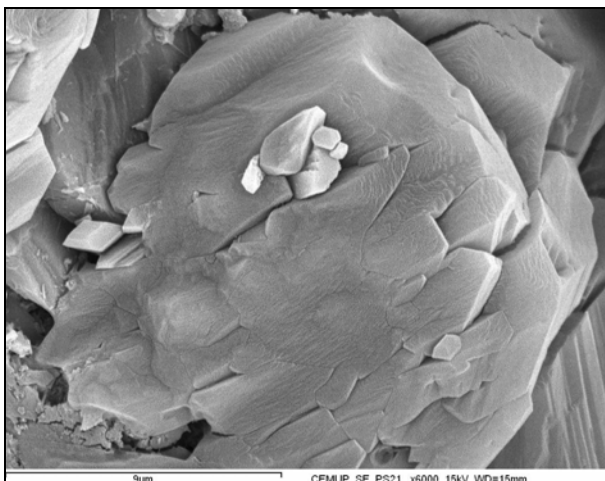
b) PS 21 – Niter – Espectro



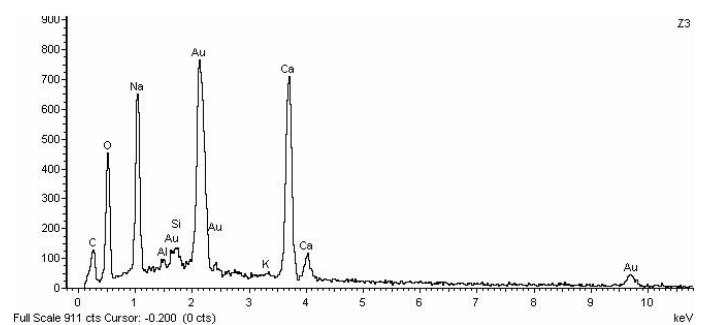
c) PS 21 – Cristais anédricos de niter com figuras de dissolução



d) PS 21 – Cristais subédricos de gaylussite com figuras de dissolução

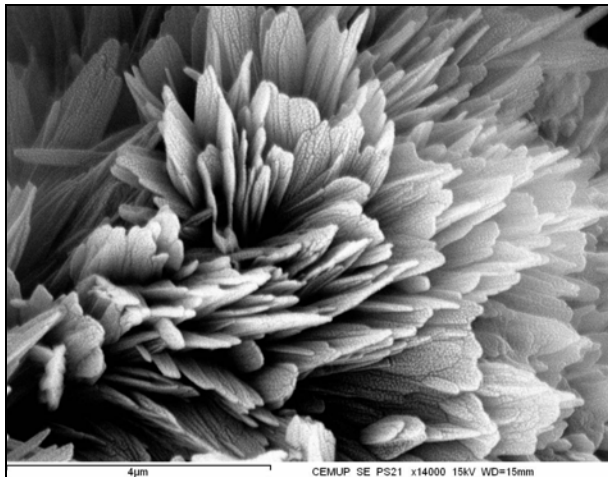


e) PS 21 – Cristais subédricos de gaylussite com figuras de dissolução

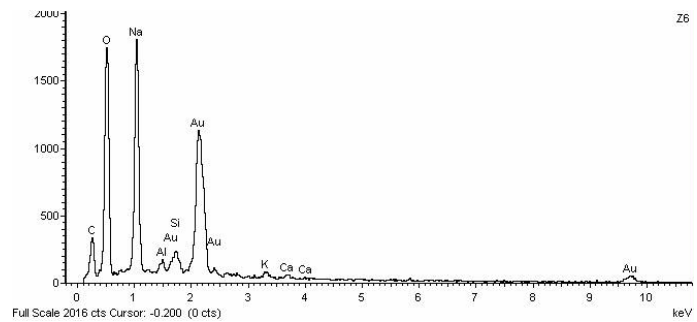


f) PS 21 – Gaylussite – Espectro

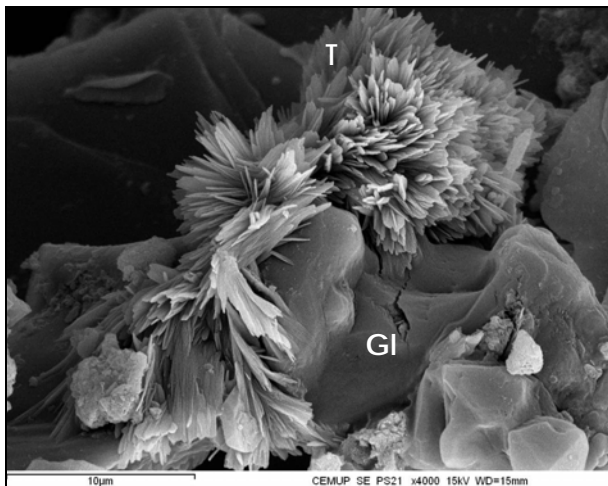
Figura 4.13 – Desagregação granular na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectros do niter e da gaylussite obtidos por MEV



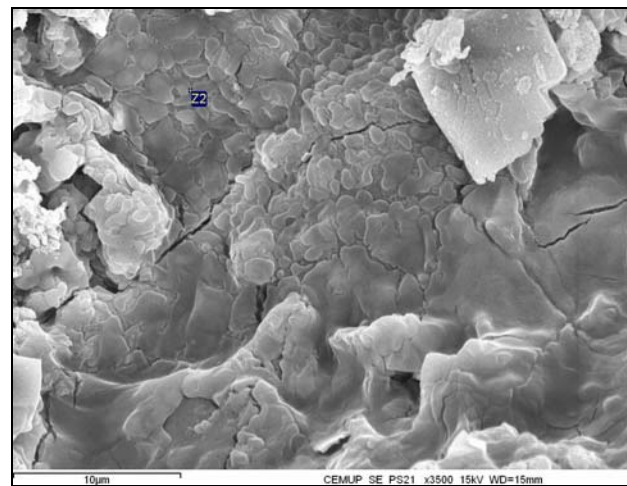
a) PS 21 – Agregado radial de cristais aciculares de trona



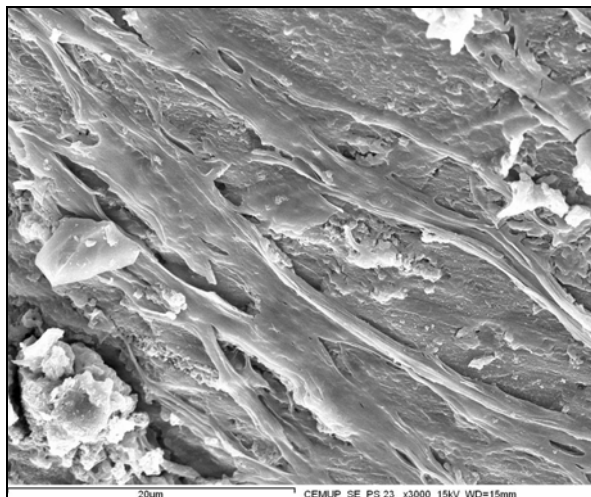
b) PS 21 – Espectro de trona



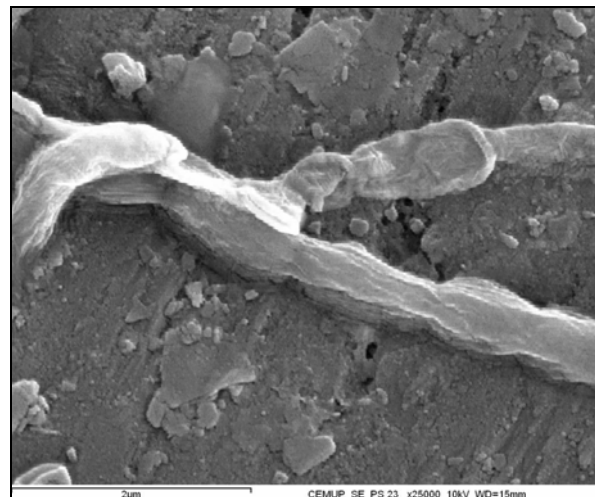
c) PS 21 – Agregado radial de cristais aciculares de trona (T) entre cristais anédricos de gaylussite (GI)



d) PS 21 – Filme constituído por halite e nitratite, evidenciando figuras de dissolução



e) PS 23 – Colonização biológica (fungos)



f) PS 23 – Colonização biológica (fungos)

Figura 4.14 – Desagregação granular na parede Norte da capela-mor. Imagens da trona, gaylussite, halite, nitratite e fungos e espectro da trona obtidos por MEV

A colonização biológica é pouco intensa, tendo-se observado alguns fungos (Figuras 4.14e, 4.14f).

2. EFLORESCÊNCIAS PULVERULENTAS

2.1 EXTERIOR – PORTAL OESTE

Todas as eflorescências observadas na Igreja de Paço de Sousa são do tipo pulverulento. As amostras PS 3, PS 5, PS 9 e PS 26 foram estudadas por MEV. No Quadro 4.4, estão referenciados os nomes das amostras, a sua localização, a cota a que foram recolhidas e os minerais de sais solúveis identificados – gesso e calcite (Figuras 4.15 a 4.17).

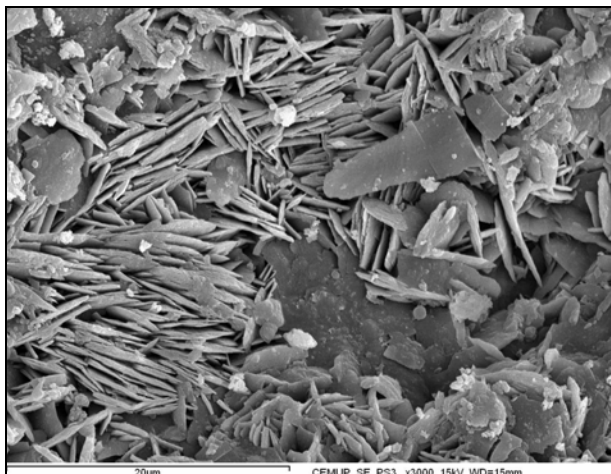
Quadro 4.4 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de eflorescências no portal Oeste

DETERIORAÇÃO	AMOSTRA	COTA (m)	MINERAIS DE SAIS SOLÚVEIS
Eflorescências pulverulentas	PS 3	2,35 – 2,40	Gesso + calcite
	PS 5	3,80 – 3,90	Calcite
	PS 9	3,5	Gesso
	PS 26	1,55 – 1,70	Gesso

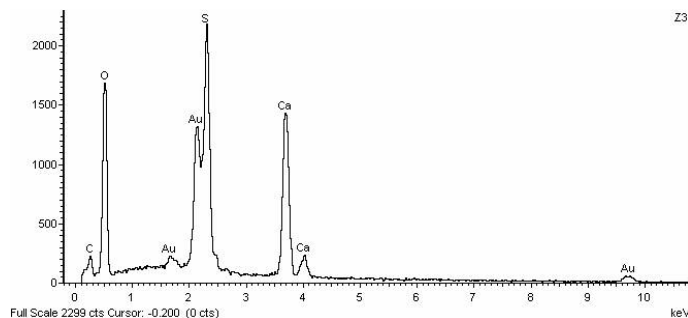
O gesso exibe-se sob a forma de cristais lamelares de bordos arredondados, formando rosas do deserto (Figuras 4.15a, 4.15c), agregados de lamelas muito finas sem bordos arredondados (Figuras 4.15d, 4.15e, 4.15f, 4.16a, 4.16b), cristais tabulares (Figuras 4.16a, 4.16c, 4.16d), cristais tabulares mostrando figuras de dissolução (Figura 4.16e) e cristais anédricos com figuras de dissolução (Figura 4.16f).

A calcite identificada na amostra PS 5 revela-se sob a forma de agregados pulverulentos de cristais anédricos de muito pequenas dimensões (Figuras 4.17a, 4.17d, 4.17e, 4.17f) e sob a forma de cristais anédricos com figuras de dissolução (Figuras 4.17c).

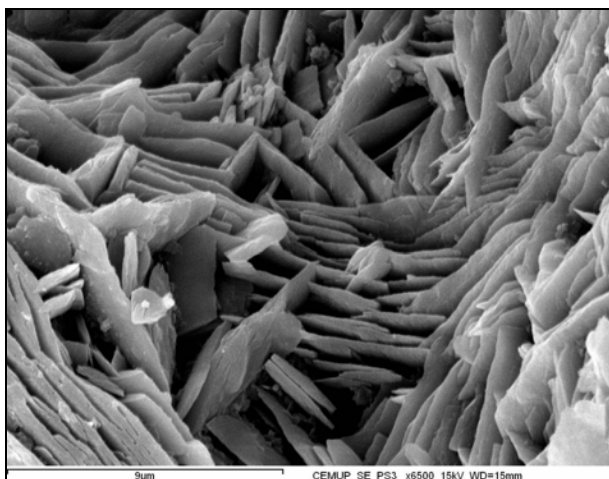
Nas quatro amostras de eflorescências pulverulentas estudadas por MEV, não se observou actividade biológica significativa.



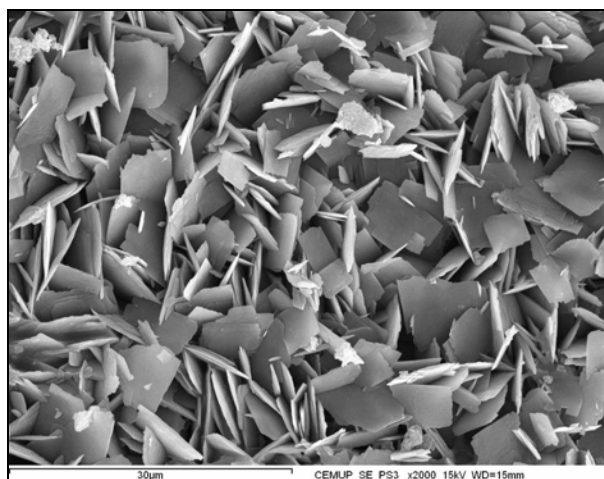
a) PS 3 – Cristais lamelares de bordos formando rosas do deserto



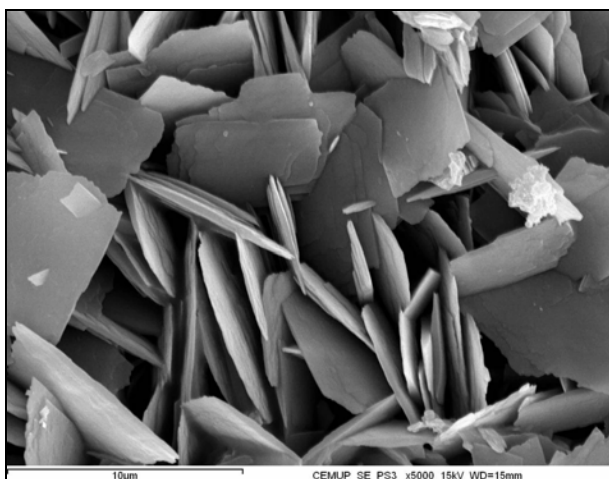
b) PS 3 – Gesso – Espectro



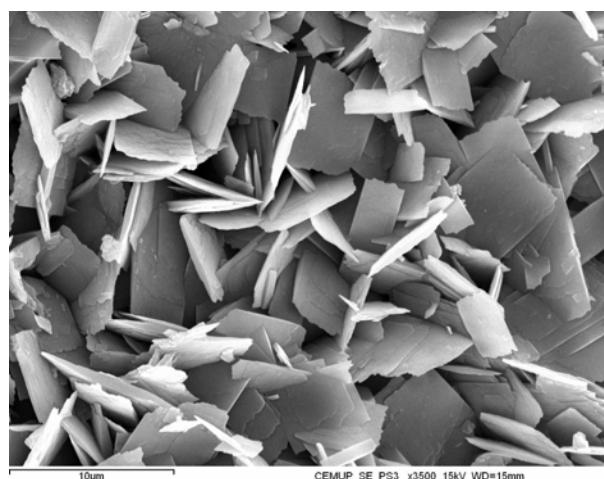
c) PS 3 – Cristais lamelares de bordos arredondados formando rosas do deserto



d) PS 3 – Agregado de lamelas finas sem bordos arredondados

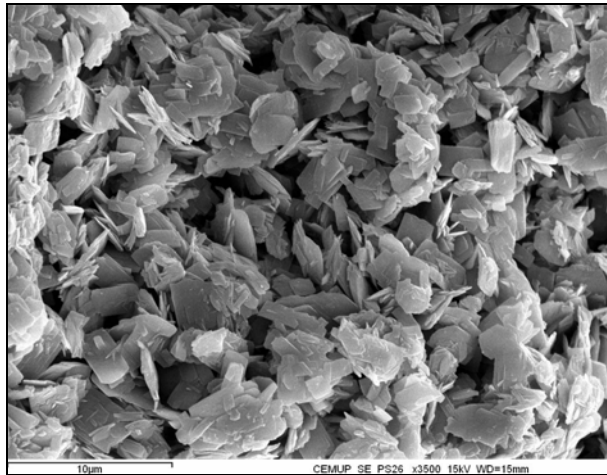


e) PS 3 – Agregado de lamelas finas sem bordos arredondados

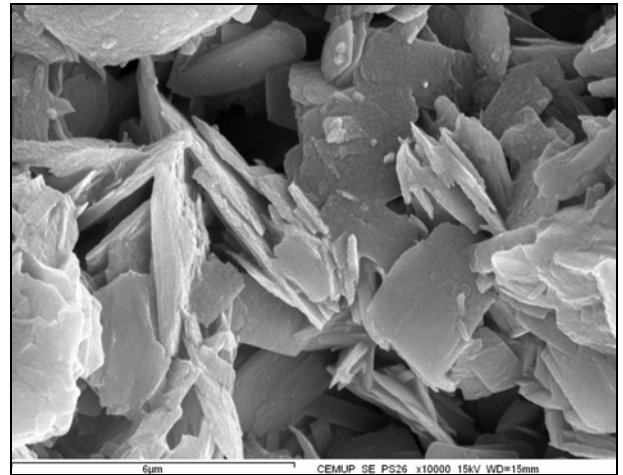


f) PS 3 – Agregado de lamelas finas sem bordos arredondados

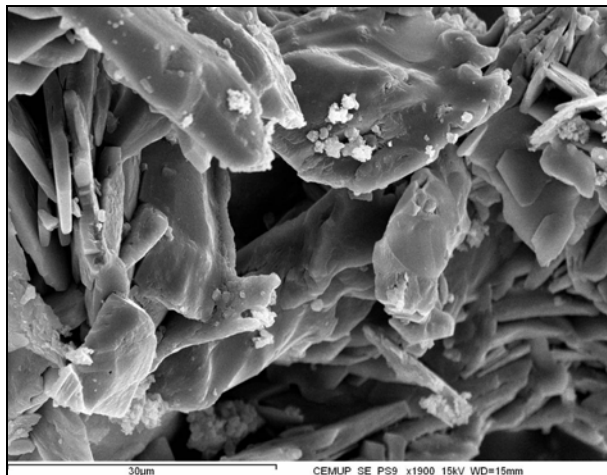
Figura 4.15 – Eflorescências pulverulentas no portal Oeste. Imagens e espectro do gesso obtidos por MEV



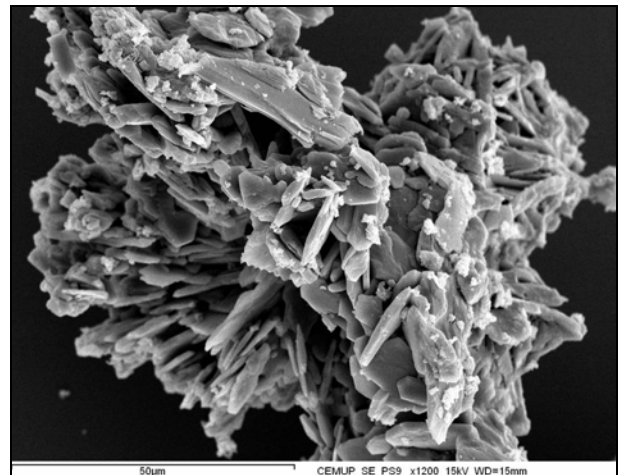
a) PS 26 – Agregado pulverulento de cristais lamelares sem bordos arredondados e tabulares



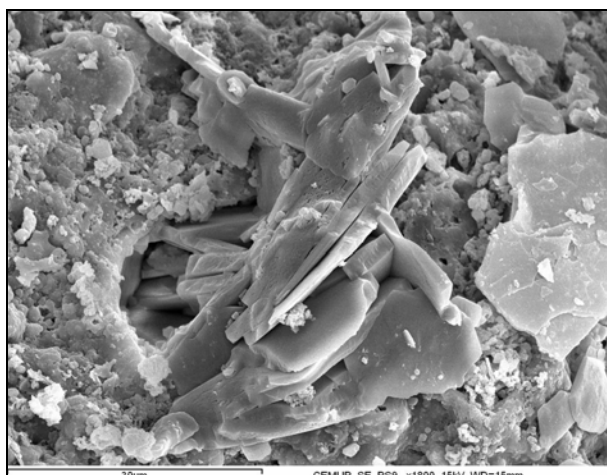
b) PS 9 – Agregado de lamelas finas sem bordos arredondados



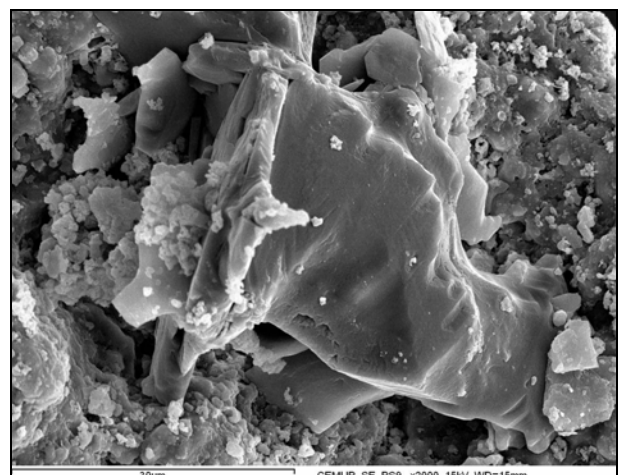
c) PS 9 – Cristais tabulares e cristais anédricos mais ou menos isométricos



d) PS 3 – Cristais lamelares e tabulares

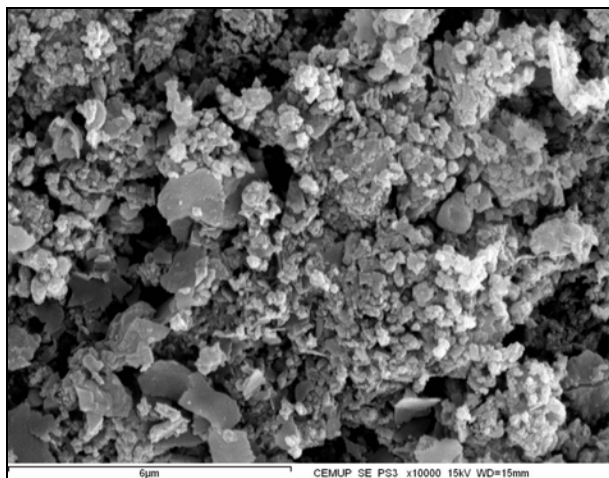


e) PS 9 – Cristais tabulares com figuras de dissolução sobre quartzo

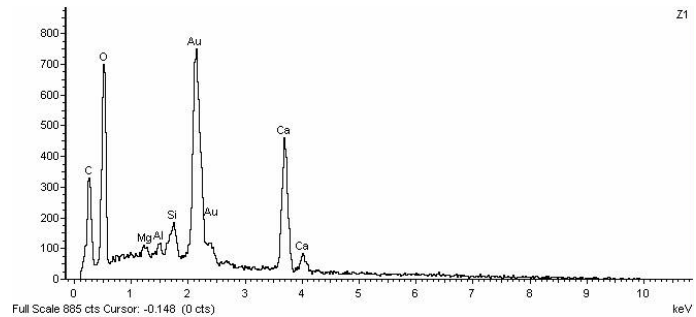


f) PS 9 – Cristal anédrico com figuras de dissolução

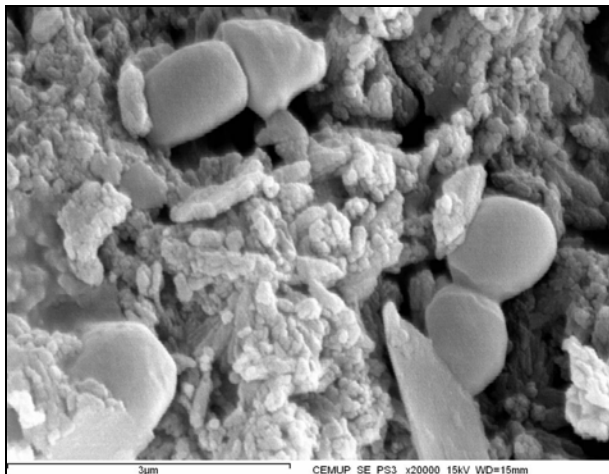
Figura 4.16 – Eflorescências pulverulentas no portal Oeste. Imagens de gesso obtidas por MEV



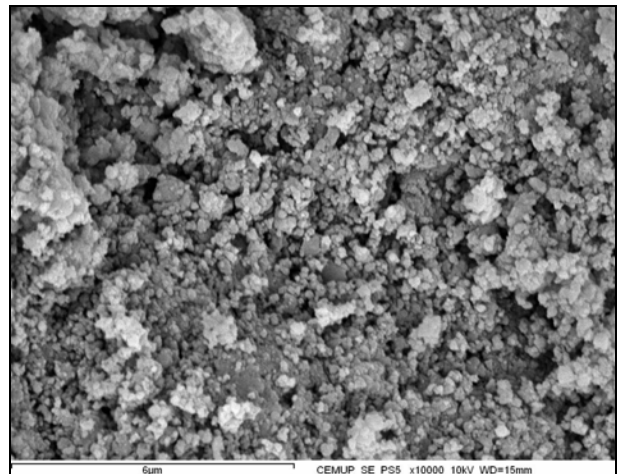
a) PS 3 – Agregados pulverulentos de cristais anédricos sobre quartzo



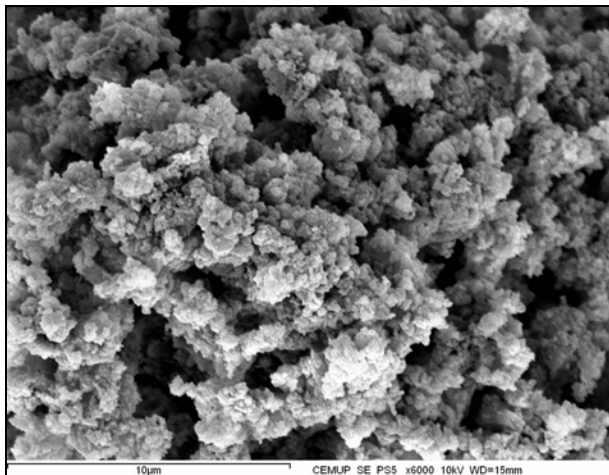
b) PS 3 – Calcite – Espectro



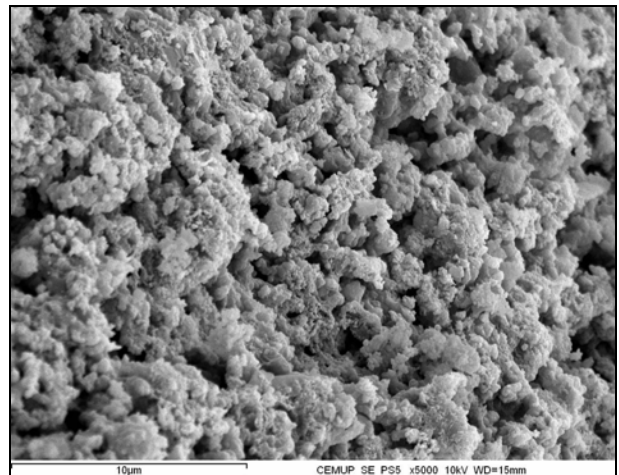
c) PS 3 – Cristais anédricos com figuras de dissolução



d) PS 5 – Agregados pulverulentos de cristais anédricos



e) PS 5 – Agregados pulverulentos de cristais anédricos



f) PS 5 – Agregados pulverulentos de cristais anédricos

Figura 4.17 – Eflorescências pulverulentas no portal Oeste. Imagens e espectro de calcite obtidos por MEV

2.2 INTERIOR – PAREDE NORTE DA CAPELA-MOR

No interior da igreja, analisaram-se por MEV as amostras de eflorescências pulverulentas PS 16, PS 17, PS 18 e PS 19, identificando-se apenas os minerais de sais solúveis gesso, calcite e cloreto de chumbo (Quadro 4.5). As Figuras 4.18 a 4.20 representam imagens e espectros dos minerais de sais solúveis.

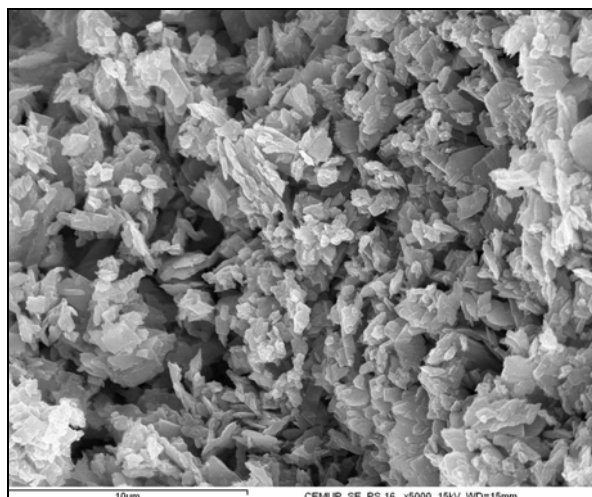
Quadro 4.5 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de eflorescências na parede Norte da capela-mor

DETERIORAÇÃO	AMOSTRA	COTA (m)	MINERAIS DE SAIS SOLÚVEIS
Eflorescências pulverulentas	PS 16	1,77 – 1,85	Gesso ± calcite
	PS 17	1,65 – 1,75	Gesso + calcite
	PS 18	0,17 – 0,20	Calcite
	PS 19	4,95 – 5,05	Calcite + cloreto de chumbo

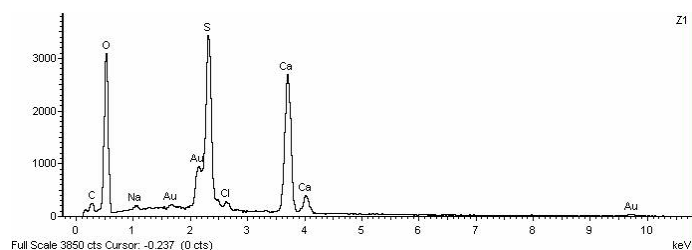
O gesso aparece apenas nas amostras PS 16 e PS 17. Forma agregados de cristais subédricos ou anédricos de pequenas dimensões (Figuras 4.18a 4.18c, 4.18d, 4.18e, 4.18f), alguns em forma de ponta de lança (Figuras 4.18a 4.18c, 4.18d, 4.18f).

A calcite cristaliza em quantidades apreciáveis nas amostras PS 19 e PS 17, sendo rara na amostra PS 16. Na amostra PS 18, apenas se detectou um cristal de calcite, único mineral de sal solúvel identificado. Ocorre sob a forma de cristais subédricos ou euédricos pseudo-tabulares (Figuras 4.19a, 4.19c, 4.19d), agregados pulverulentos de cristais subédricos mais ou menos isométricos (Figura 4.19e) e de agregados de cristais anédricos com figuras de dissolução (Figura 4.19f).

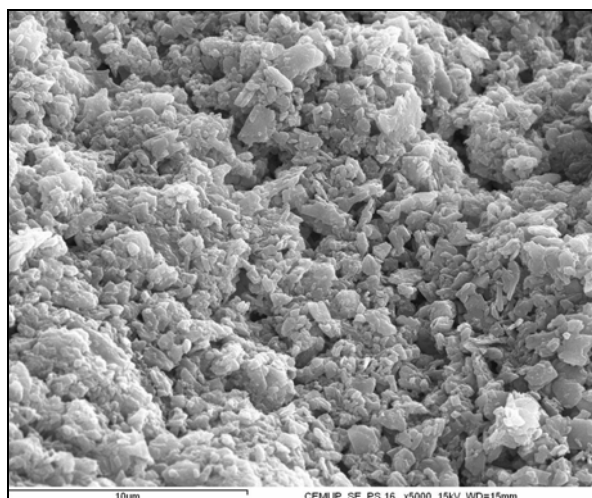
Na eflorescência PS 19, detectou-se cloreto de chumbo associado a carbonato de cálcio (Figura 4.20). As Figuras 4.20c e 4.20d são idênticas, mas foram obtidas respectivamente por electrões secundários e retrodifundidos. Nesta última, o contraste claro / escuro traduz sobretudo diferenças no número atómico dos constituintes das partículas. Assim, as zonas mais claras correspondem ao cloreto de chumbo e, por sua vez, as zonas mais escuras ao carbonato de cálcio.



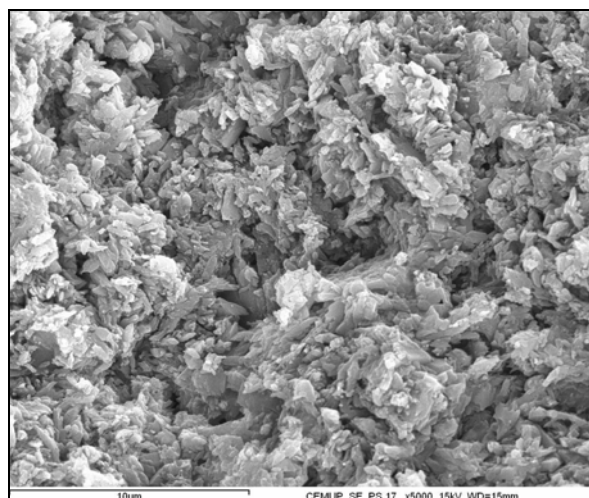
a) PS 16 – Agregados de cristais subédricos ou anédricos, alguns em forma de ponta de lança



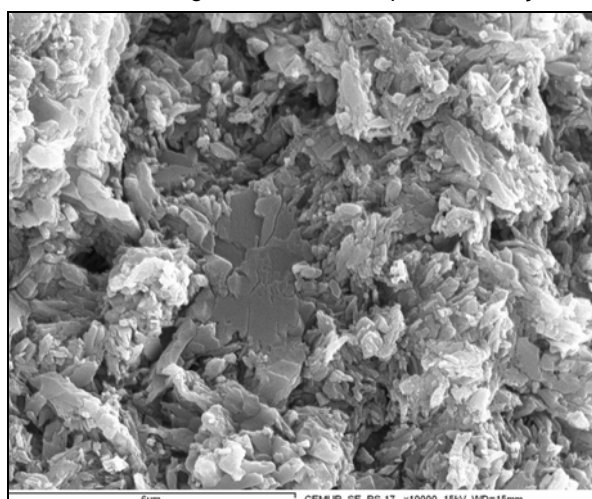
b) PS 16 – Gesso – Espectro



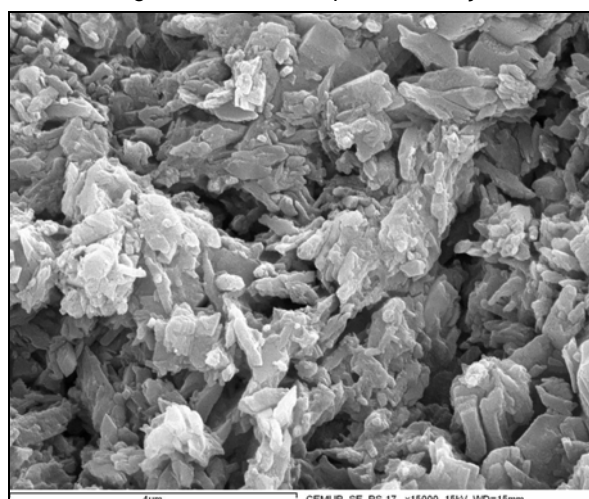
c) PS 16 – Agregados de cristais subédricos ou anédricos, alguns em forma de ponta de lança



d) PS 17 – Agregados de cristais subédricos ou anédricos, alguns em forma de ponta de lança

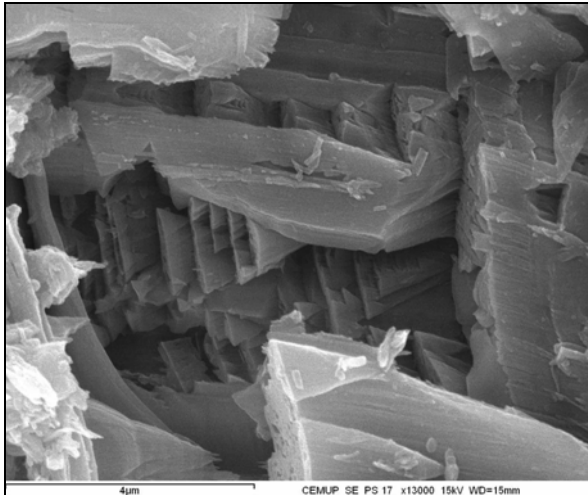


e) PS 17 – Agregados de cristais subédricos ou anédricos

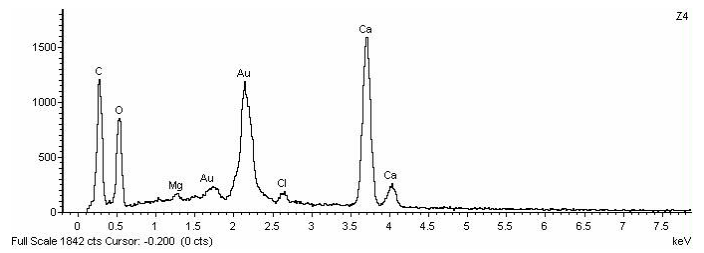


f) PS 17 – Agregados de cristais subédricos ou anédricos, alguns em forma de ponta de lança

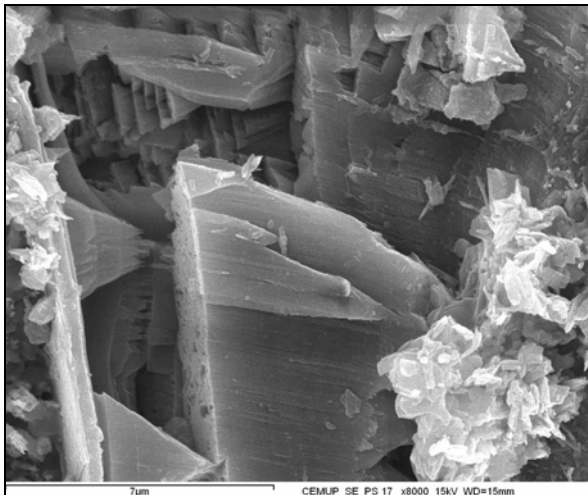
Figura 4.18 – Eflorescências pulverulentas na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectro de gesso obtidos por MEV



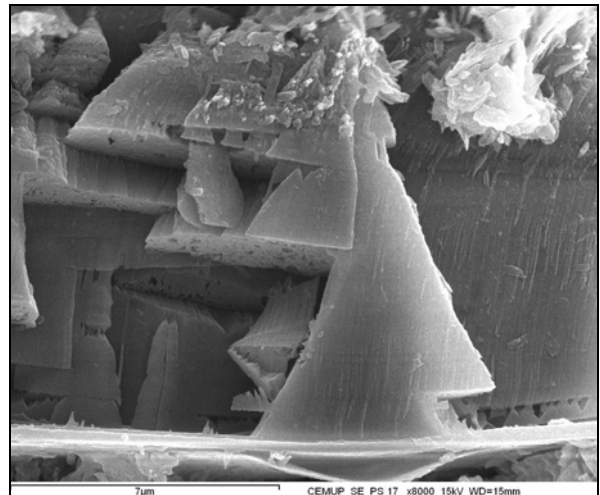
a) PS 17 – Cristais subédricos ou euédricos pseudo-tabulares



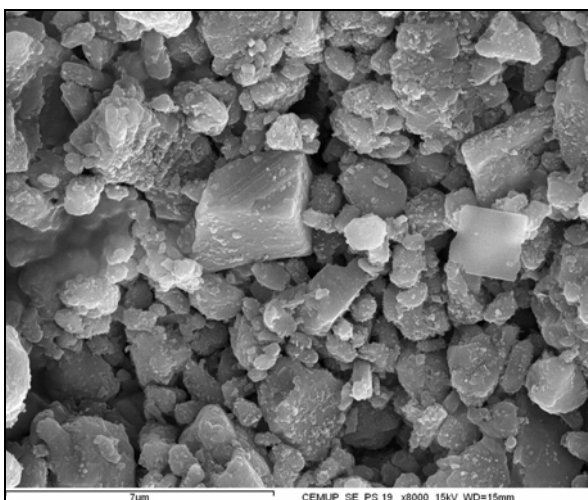
b) PS 17 – Calcite – Espectro



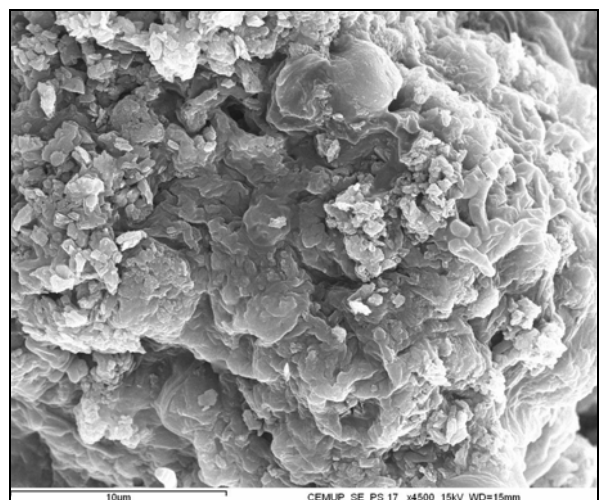
c) PS 17 – Cristais subédricos ou euédricos pseudo-tabulares



d) PS 17 – Cristais subédricos ou euédricos pseudo-tabulares

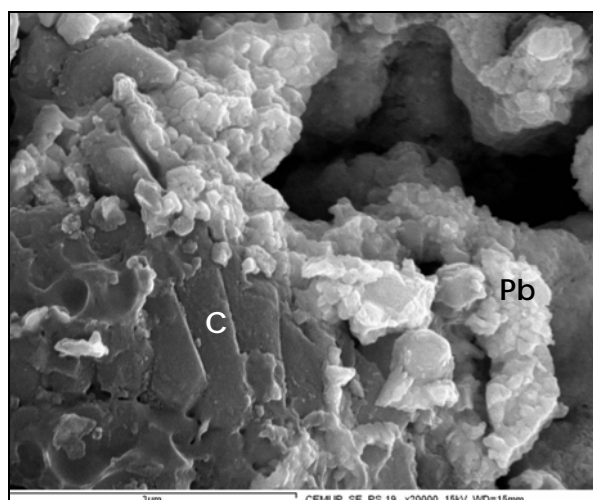


e) PS 19 – Agregado pulverulento de cristais subédricos mais ou menos isométricos

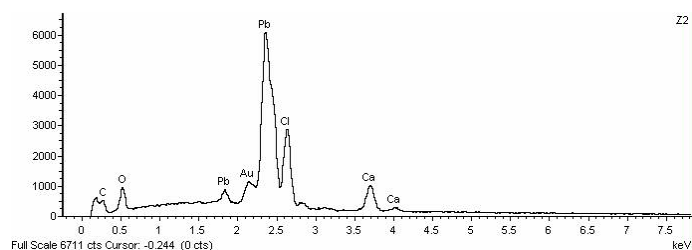


f) PS 17 – Agregado de cristais anédricos com figuras de dissolução

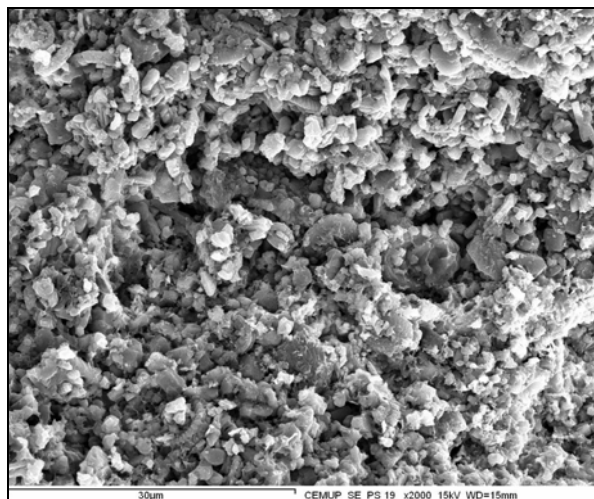
Figura 4.19 – Efflorescências pulverulentas na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectro de calcite obtidos por MEV



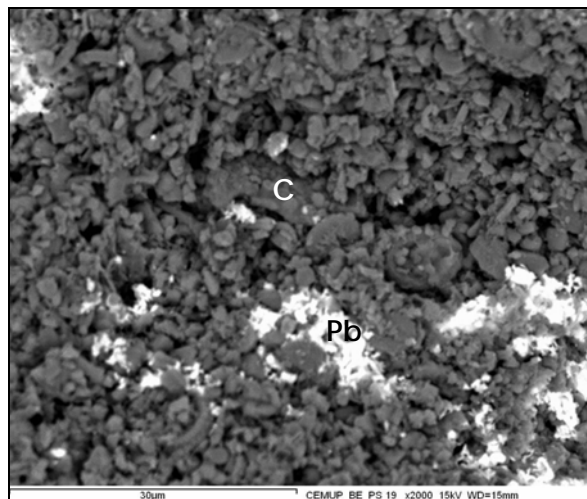
a) PS 19 – Calcite (C) com cloreto de chumbo (Pb)



b) PS 19 – Cloreto de chumbo e calcite – Espectro



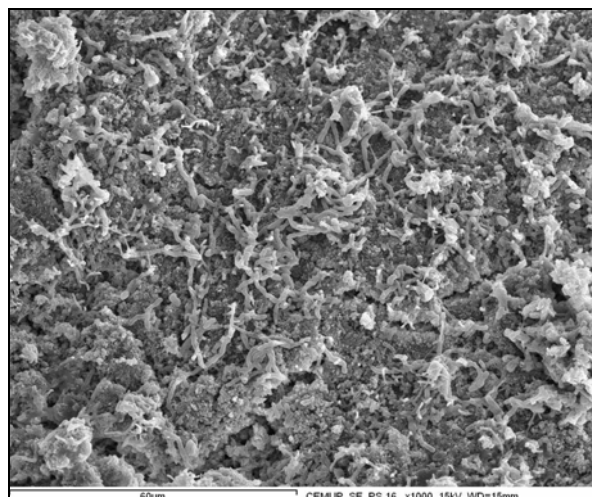
c) PS 19 – Calcite com cloreto de chumbo
electrões secundários



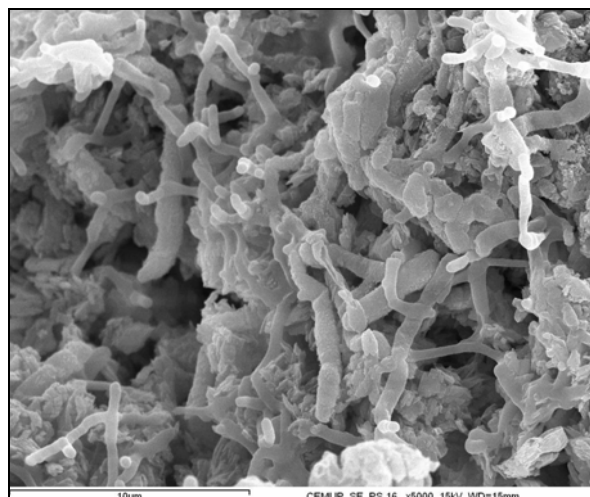
d) PS 19 – Calcite (C) com cloreto de chumbo (Pb)
electrões rectrodifundidos

Figura 4.20 – Eflorescências pulverulentas na parede Norte da capela-mor. Imagens e espectro de calcite e cloreto de chumbo obtidos por MEV

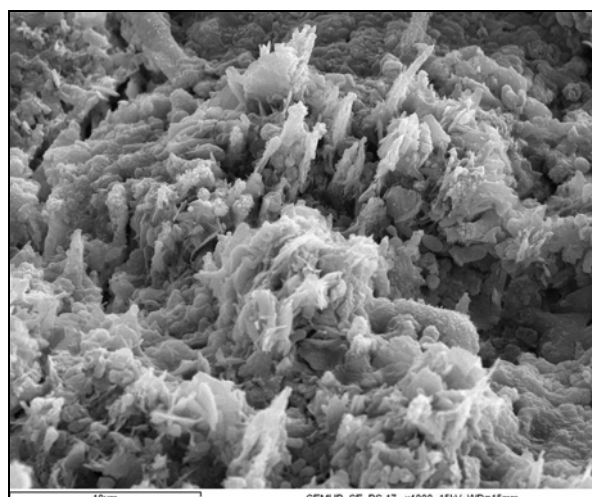
As amostras PS 16 e PS 17 evidenciaram actividade biológica significativa, incluindo a presença de fungos (Figuras 4.21a, 4.21b, 4.21c) e diatomáceas (Figura 4.21d). As amostras PS 18 e PS 19 não revelaram a mesma actividade biológica correspondente à das amostras anteriores.



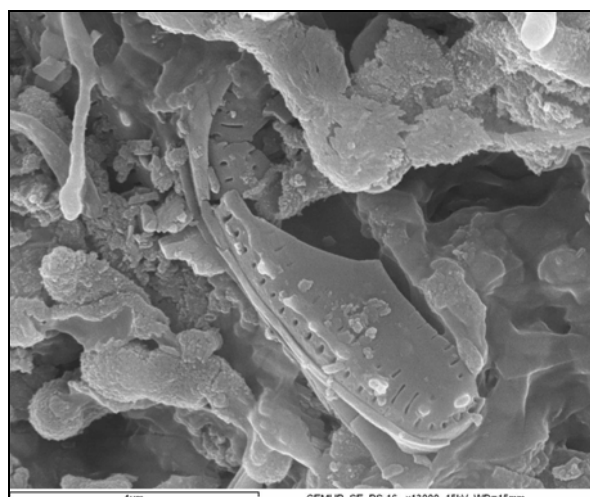
a) PS 16 – Colonização biológica (fungos)



b) PS 16 – Colonização biológica (fungos)



c) PS 17 – Cristais de gesso com colonização biológica (fungos)



d) PS 16 – Diatomácea

Figura 4.21 – Eflorescências pulverulentas na parede Norte da capela-mor. Imagens de colonização biológica obtidas por MEV

3. PLACAS

As superfícies interiores das placas colhidas no portal Oeste PS 11, PS 12 e PS 13 foram estudadas por MEV. As superfícies exteriores exibem um filme de tons amarelos alaranjados que serão analisados no ponto seguinte.

Nas superfícies interiores das placas, identificaram-se o gesso (mineral de sal solúvel dominante nas três amostras), a nitratite e a halite (Quadro 4.6).

Quadro 4.6 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de placas no portal Oeste

DETERIORAÇÃO	AMOSTRA	COTA (m)	MINERAIS DE SAIS SOLÚVEIS
Placas	PS 11	1,13 – 1,21	Gesso
	PS 12	0,21 – 0,23	Gesso + nitratite ± halite
	PS 13	0,85 – 0,89	Gesso + halite + nitratite

O gesso ocorre sob a forma de cristais euédricos tabulares ou lamelares com hábito pseudo-hexagonal (Figuras 4.22a, 4.22c, 4.22d, 4.22e, 4.22f, 4.23f, 4.25c), cristais subédricos lamelares de bordos arredondados em forma de ponta de lança (Figuras 4.22f, 4.25b), cristais prismáticos com arestas e vértices arredondados devido a dissolução incipiente (Figuras 4.23a, 4.23b, 4.23d), cristais com figuras de dissolução (Figuras 4.23c, 4.25a), cristais anédricos tabulares com figuras de dissolução (Figura 4.23d) e cristais subédricos tabulares com hábito pseudo-hexagonal (Figuras 4.23e, 4.23f).

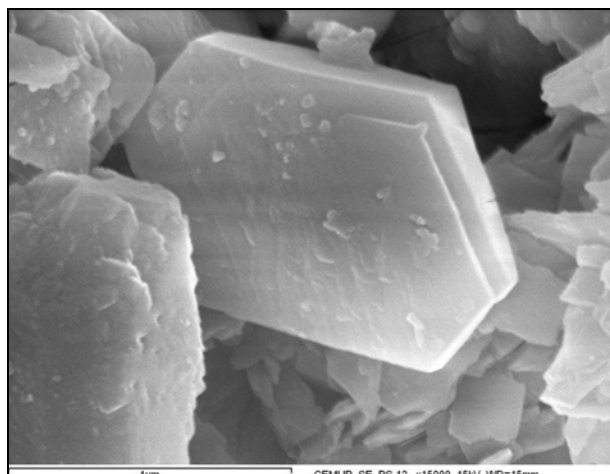
A halite apresenta-se como cristais subédricos e anédricos com figuras de dissolução (Figuras 4.24a, 4.24c, 4.24d), cristais aciculares com arestas e vértices arredondados devido a dissolução (Figura 4.24d) e cristais de reduzida dimensão dispersos sobre gesso (Figuras 4.25b, 4.25c).

A nitratite revela-se sob a forma de pêlos de bordos arredondados devido a dissolução (Figuras 4.24e, 4.25a) e cristais anédricos integralmente delimitados por figuras de dissolução (Figuras 4.24e, 4.25a).

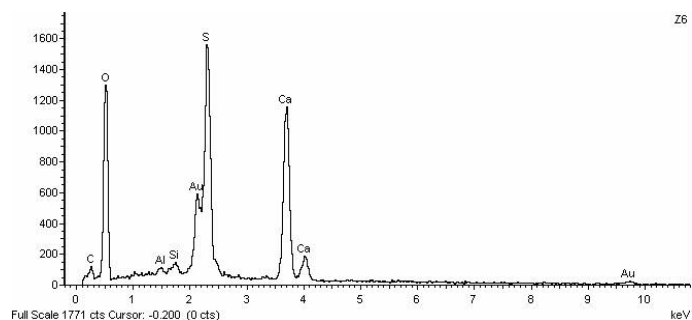
A colonização biológica verifica-se através do desenvolvimento de alguns fungos (Figuras 4.25d, 4.25e).

4. FILMES DE TONS AMARELO ALARANJADOS

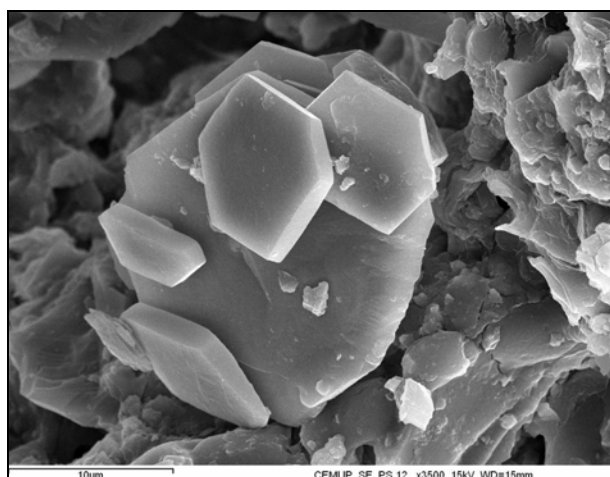
Na década de oitenta, a Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, aplicou produtos consolidantes em diversos monumentos graníticos portugueses, sobretudo nas zonas com maior valor arquitectónico e artístico, nomeadamente os portais, como por exemplo na Igreja de São Pedro de Rates (Begonha 2002c, 2002d), onde foi aplicado em 1984 um silicone que, posteriormente, reagiu com a radiação ultravioleta da luz solar, formando um filme de tom alaranjado.



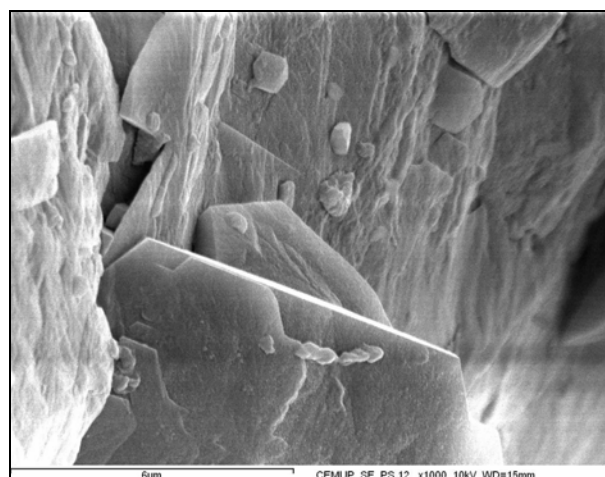
a) PS 12 – Cristais tabulares com hábito pseudo-hexagonal



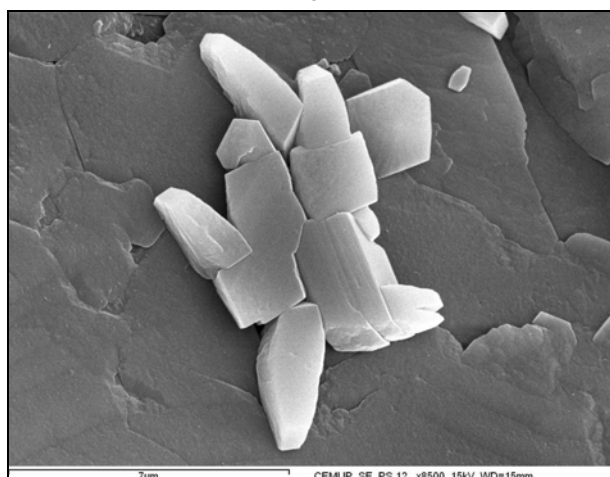
b) PS 12 – Gesso – Espectro



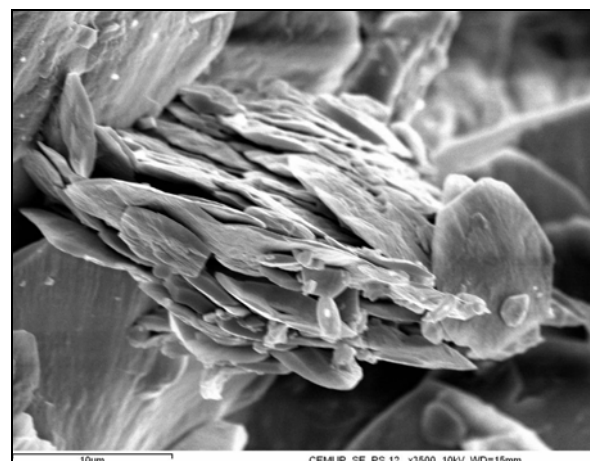
c) PS 12 – Cristais tabulares com hábito pseudo-hexagonal



d) PS 12 – Cristais tabulares com hábito pseudo-hexagonal

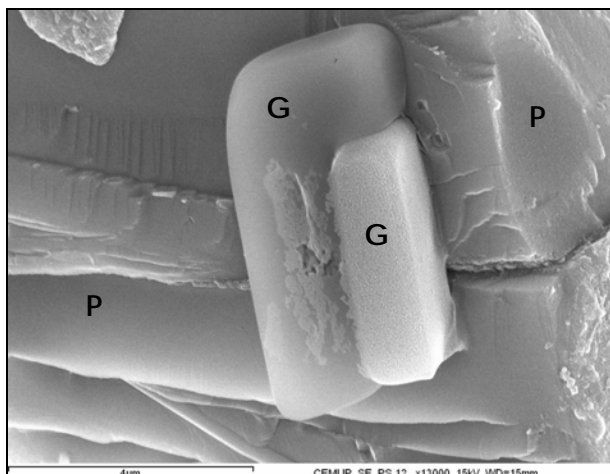


e) PS 12 – Cristais euédricos sobre cristais com hábito tabular

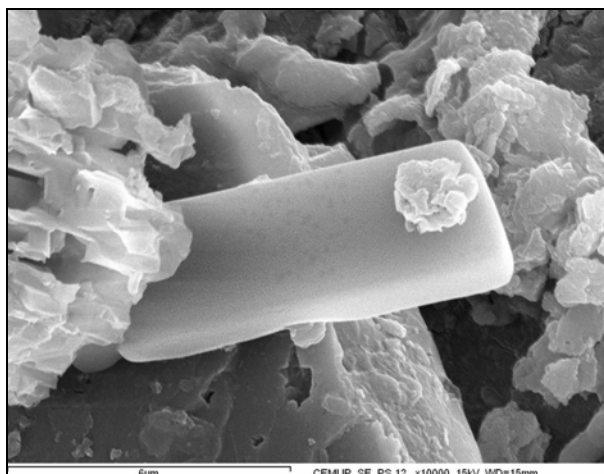


f) PS 12 – Cristais tabulares em ponta de lança e com hábito pseudo-hexagonal

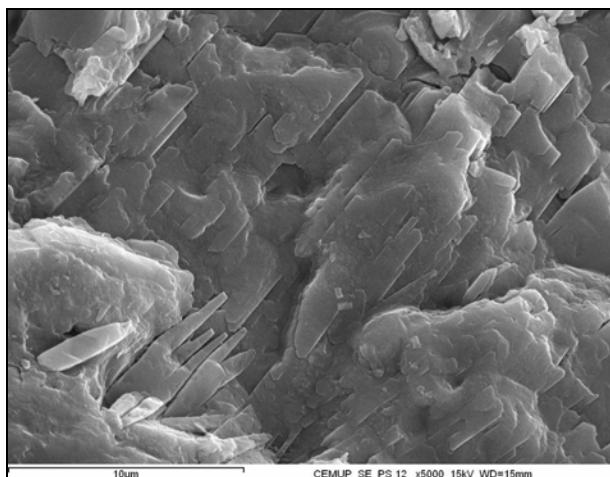
Figura 4.22 – Placas no portal Oeste. Imagens e espectro de gesso obtidos por MEV



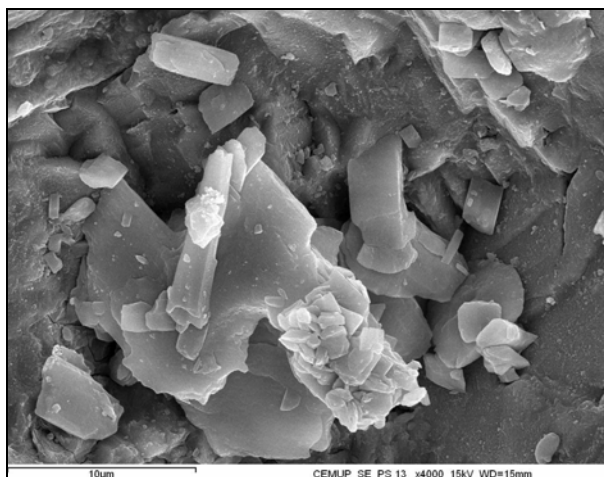
a) PS 12 – Cristais de gesso (G) sobre plagioclase sódica (P)



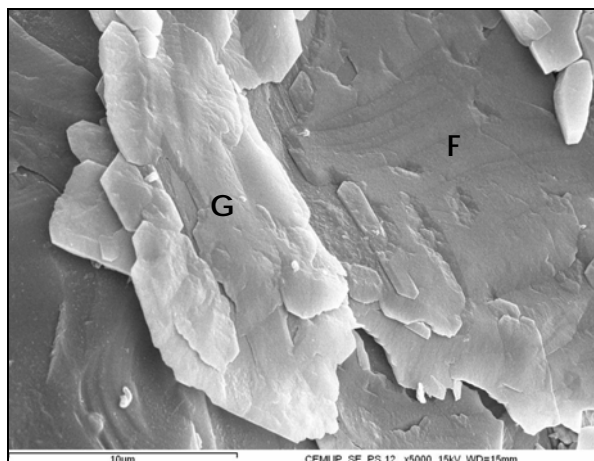
b) PS 12 – Cristal euédrico prismático de gesso sobre plagioclase sódica



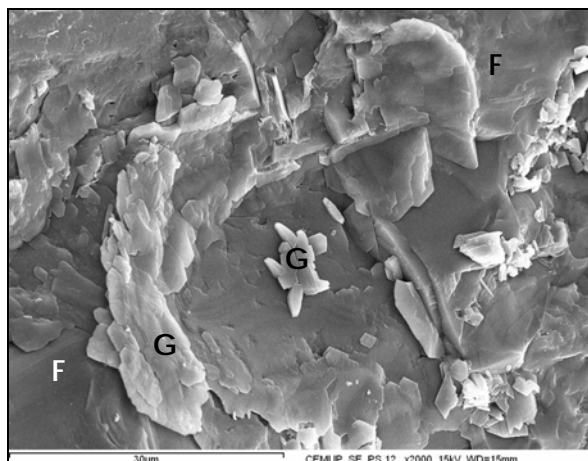
c) PS 12 – Cristais de gesso com figuras de dissolução



d) PS 13 – Cristais de gesso (G) sobre feldspato potássico (F)

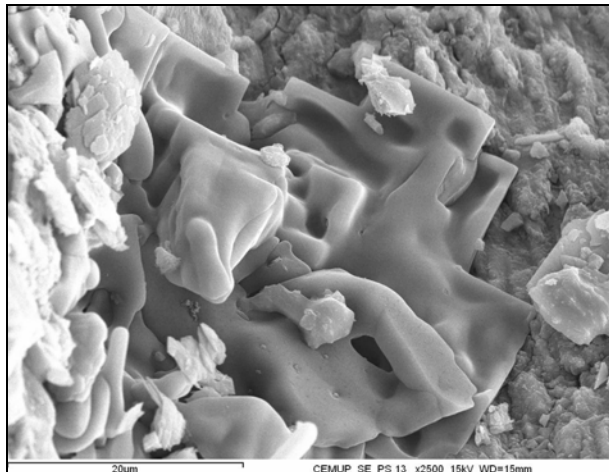


e) PS 12 – Conjunto de cristais de gesso (G) sobre feldspato potássico (F)

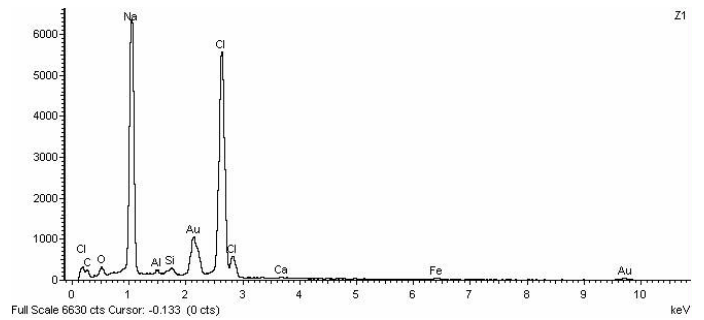


f) PS 12 – Conjunto de cristais de gesso (G) sobre feldspato potássico (F)

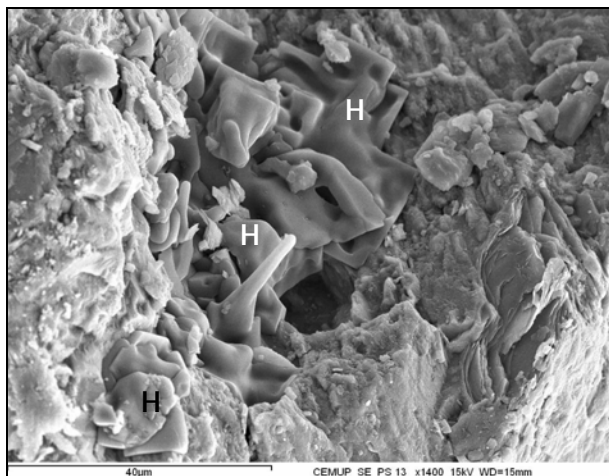
Figura 4.23 – Placas no portal Oeste. Imagens de gesso obtidas por MEV



a) PS 13 – Cristais de halite com figuras de dissolução



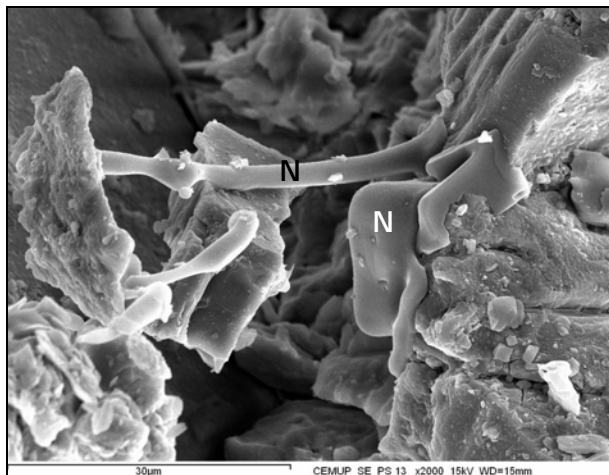
b) PS 13 – Halite – Espectro



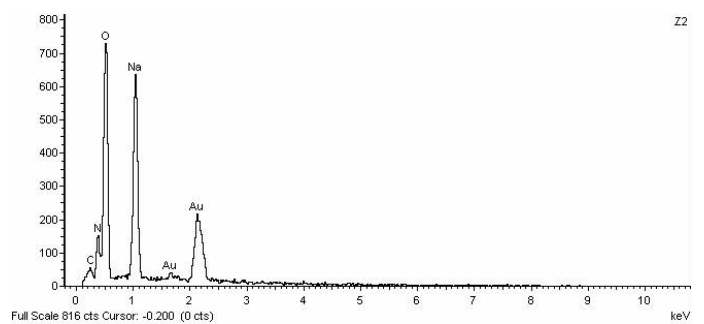
c) PS 13 – Cristais de halite (H) com figuras de dissolução



d) PS 13 – Cristais de halite com figuras de dissolução

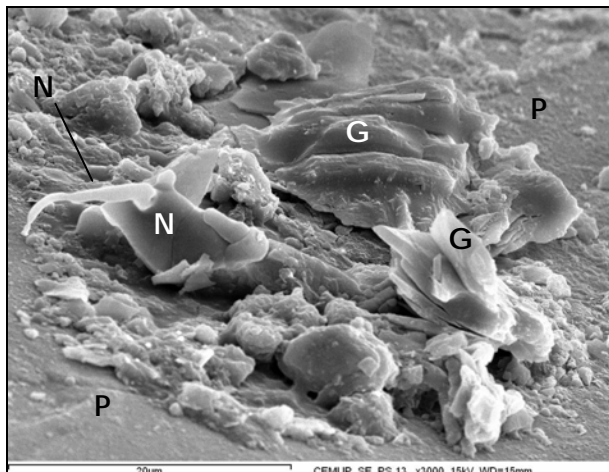


e) PS 13 – Cristais de nitratite (N) com figuras de dissolução

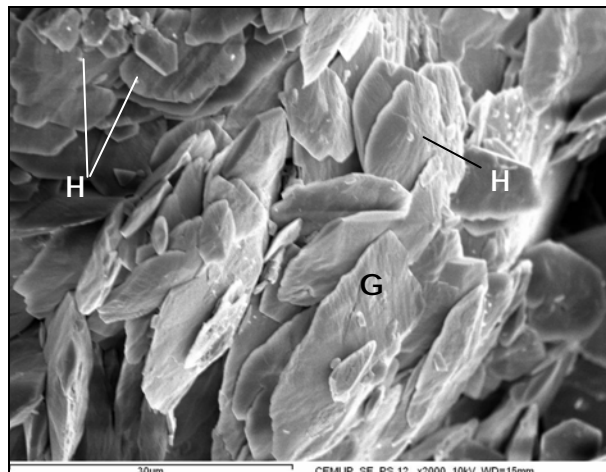


f) PS 13 – Nitratite – Espectro

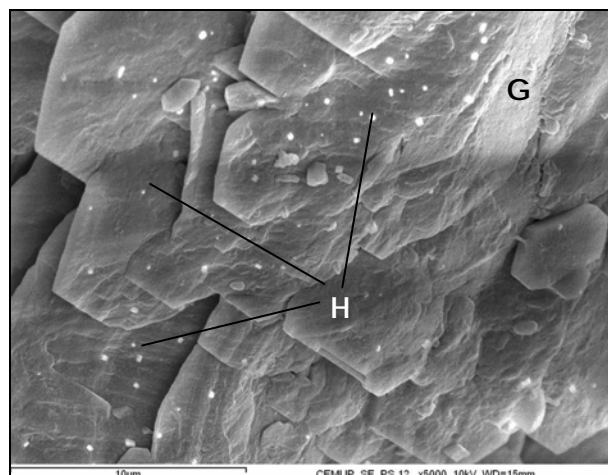
Figura 4.24 – Placas no portal Oeste. Imagens e espectros de halite e nitratite obtidos por MEV



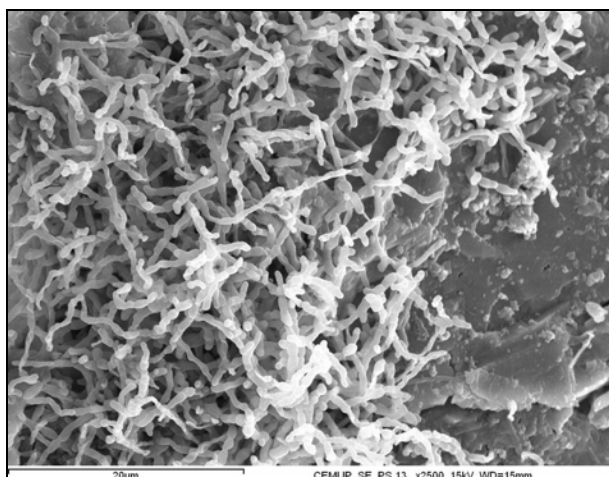
a) PS 13 – Cristais de gesso (G) e de nitratite (N) sobre plagioclase sódica (P)



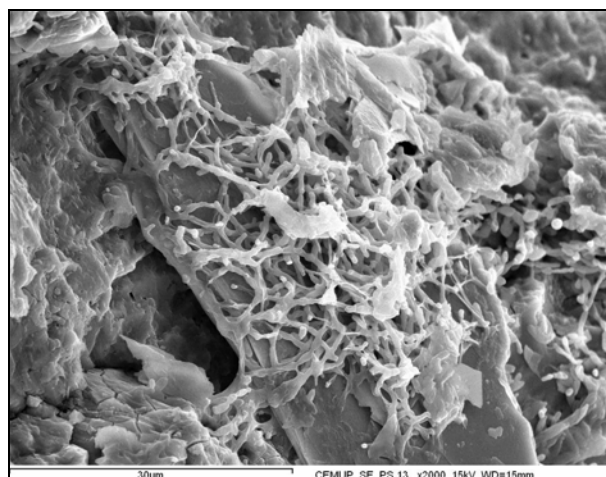
b) PS 12 – Cristais de gesso em forma em ponta de lança, hábito pseudo-hexagonal e tabular (G) com pequenos cristais de halite (H)



c) PS 12 – Cristais de gesso com hábito pseudo-hexagonal (G) com grande número de pequenos cristais de halite (H)



e) PS 13 – Colonização biológica (fungos)



f) PS 13 – Colonização biológica (fungos)

Figura 4.25 – Placas no portal Oeste. Imagens do gesso, nitratite, halite e fungos obtidas por MEV

O portal Oeste da Igreja de Paço de Sousa exibe um filme de tons amarelo alaranjados consistente com a aplicação do mesmo tipo de consolidante.

As amostras PS 11, PS 12, PS 31 e PS 32 correspondem a placas que exibem filmes amarelo alaranjados na sua superfície exterior, estudados por MEV.

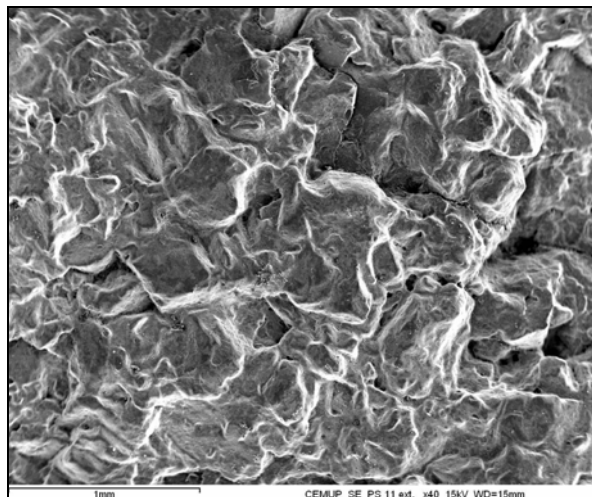
Não se observaram minerais de sais solúveis à superfície dos filmes, exceptuando raros cristais de gesso no filme PS 12 (Quadro 4.7). As Figuras 4.26 a 4.28 mostram aspectos gerais e pormenores dos diversos filmes estudados. Obtiveram-se ainda espectros e análises globais dos filmes das amostras PS 11, PS 31 e PS 32, bem como da superfície interior da placa PS 11 (Quadro 4.8).

Quadro 4.7 – Minerais de sais solúveis identificados por MEV nas amostras de placas no portal Oeste

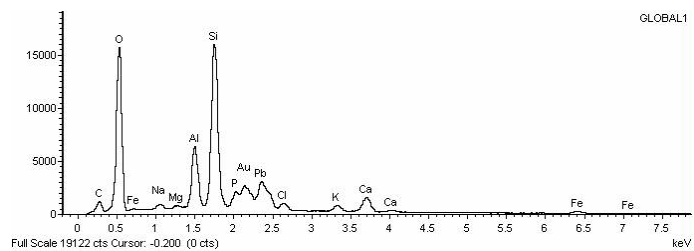
DETERIORAÇÃO	AMOSTRA	COTA (m)	MINERAIS DE SAIS SOLÚVEIS
Placas	PS 11	1,13 – 1,21	
	PS 12	0,21 – 0,23	Gesso (raro)
	PS 31	1,07 – 1,12	
	PS 32	1,20 – 1,30	

Os filmes revestem integralmente a superfície do granito, sendo constituídos por um material heterogéneo de granulometria muitíssima fina e homogénea. As Figuras 4.26a, 4.26c e 4.26e mostram, para uma mesma pequena ampliação, o aspecto geral da superfície dos filmes PS 11, PS 31 e PS 32. As Figuras 4.27 e 4.28 revelam a superfície dos filmes para maiores ampliações. A Figura 4.28d exibe um dos raros cristais de gesso observados na amostra PS 12.

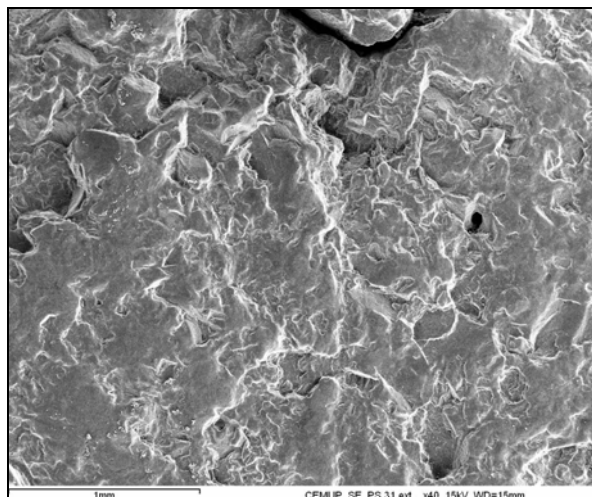
Os resultados das análises químicas apresentados no Quadro 4.8, revelam diferenças entre a composição da face interior da placa PS 11e a composição do filme existente na sua superfície exterior. A face interior da placa tem maiores quantitativos em silício, potássio, sódio, cálcio e enxofre e menores quantitativos em chumbo, ferro, fósforo e magnésio do que o filme amarelo alaranjado na superfície exterior.



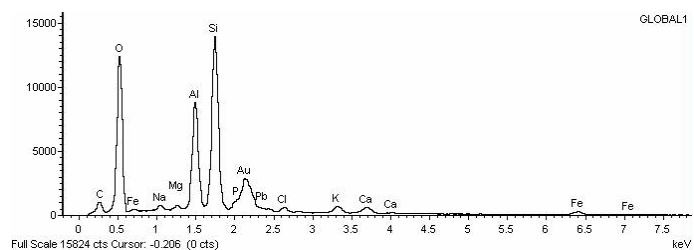
a) PS 11 – Aspecto geral



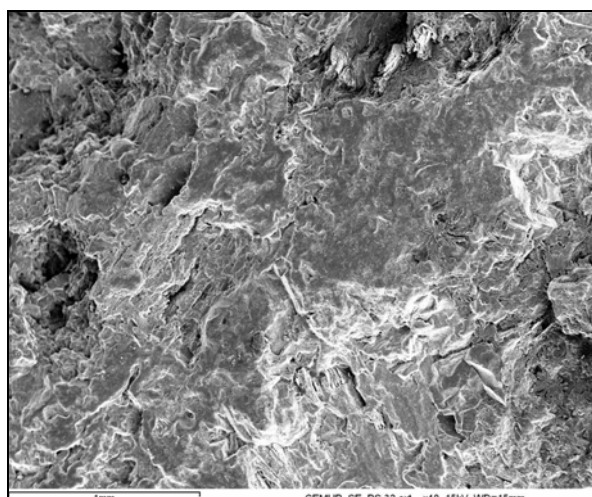
b) PS 11 – Espectro Global 1 do filme



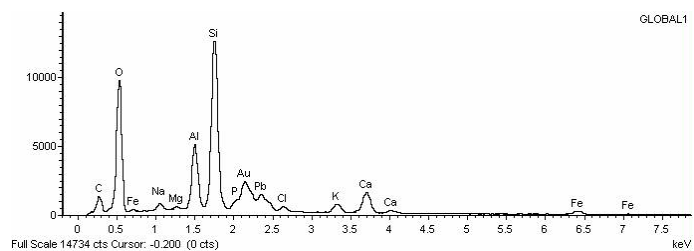
c) PS 31 – Aspecto geral



d) PS 31 – Espectro Global 1 do filme

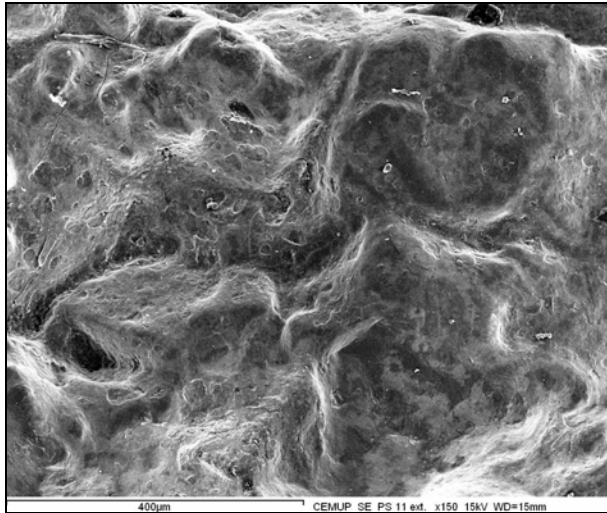


e) PS 32 – Aspecto geral

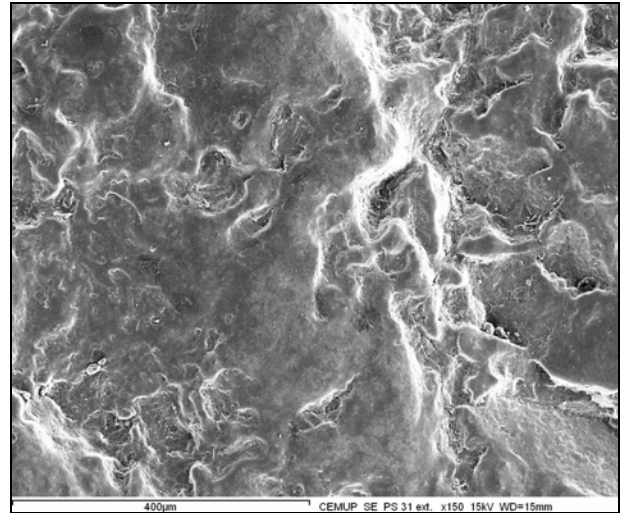


f) PS 32 – Espectro Global 1 do filme

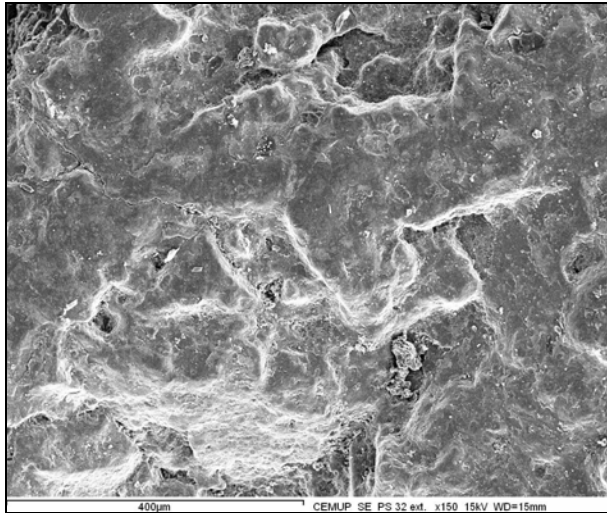
Figura 4.26 – Filmes amarelo alaranjados no portal Oeste. Imagens gerais e espectros globais obtidos por MEV



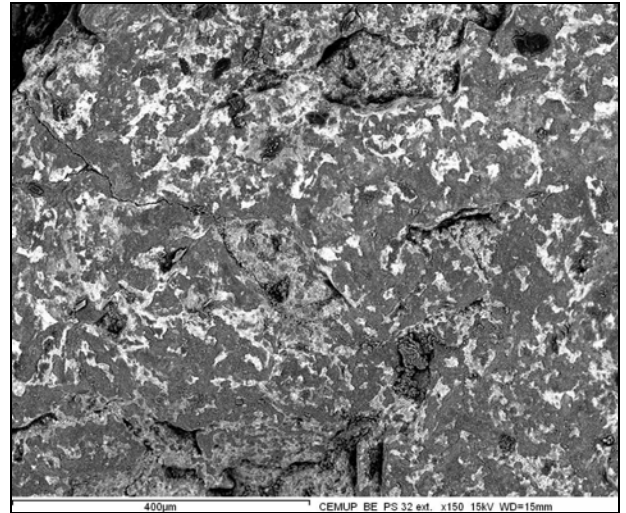
a) PS 11 – Aspecto geral



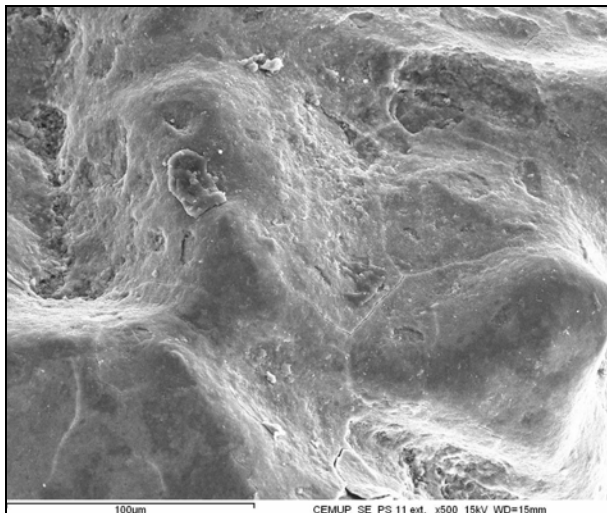
b) PS 31 – Aspecto geral



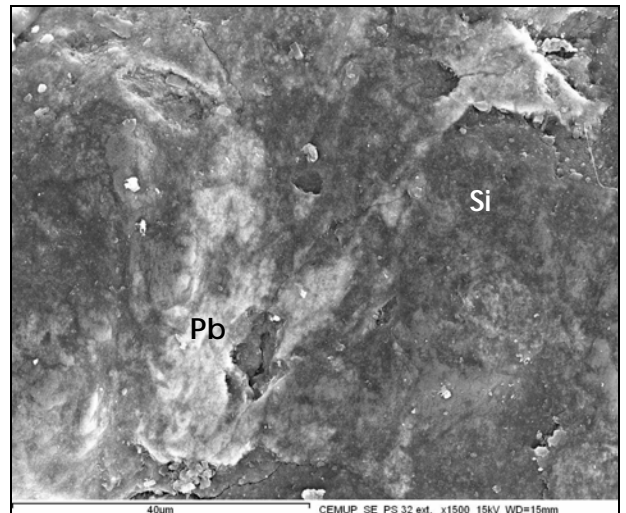
c) PS 32 – Aspecto geral – Imagem com electrões secundários



d) PS 32 – Aspecto geral – Imagem com electrões retrodifundidos – Zonas claras ricas em chumbo e zonas escuras ricas em silício

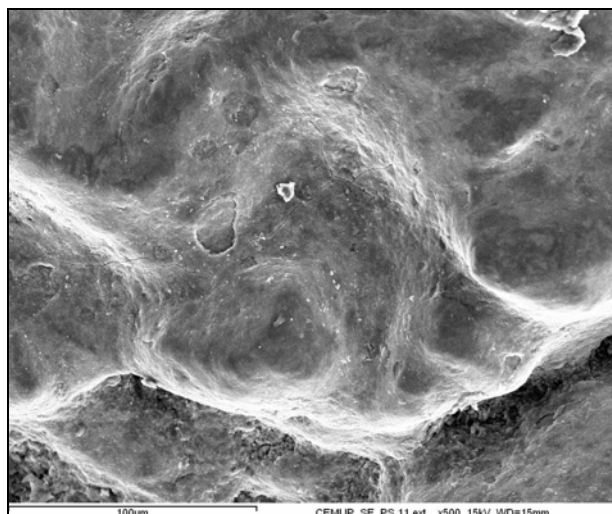


e) PS 11 – Aspecto geral

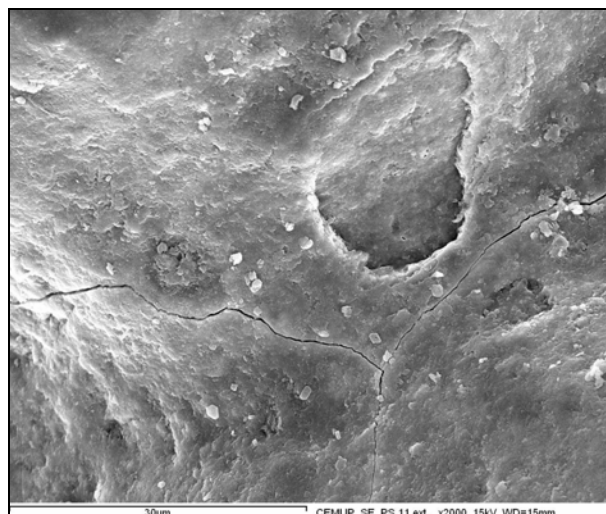


f) PS 32 – Continuidade entre as zonas ricas em chumbo (Pb) e em silício (Si)

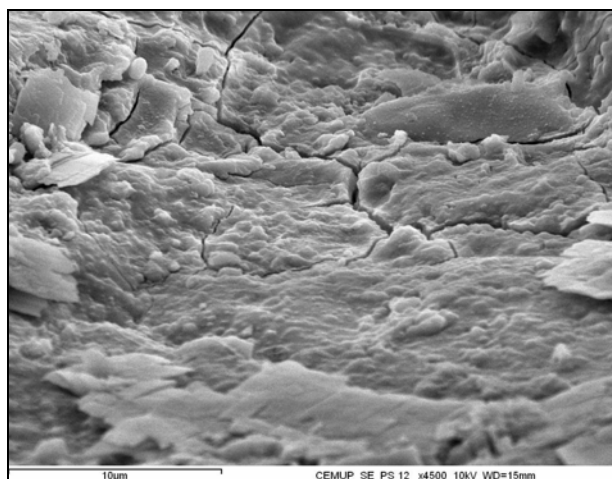
Figura 4.27 – Filmes amarelo alaranjados no portal Oeste. Imagens obtidas por MEV



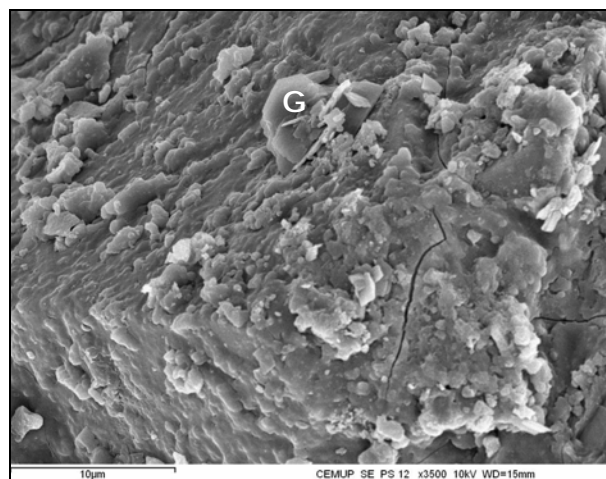
a) PS 11 – Aspecto geral do filme



b) PS 11 – Pormenor da superfície do filme



PS 12 – Pormenor da superfície do filme com fissuração



d) PS 12 – Cristal de gesso (G) sobre o filme com fissuração

Figura 4.28 – Filmes amarelo alaranjados no portal Oeste. Imagens obtidas por MEV

Os resultados das quatro análises obtidos nos filmes amarelo alaranjados PS 11, PS 31 e PS 32 mostram composições diversas. No filme PS 11, os teores em chumbo e fósforo são muito superiores aos dos outros dois filmes. Pelo contrário, o teor em silício é menor e o do ferro um pouco menor relativamente ao dos restantes dois filmes. A composição dos filmes PS 31 e PS 32 são também diferentes entre si. Os teores em chumbo e cálcio no filme PS 32 são muito superiores aos do filme PS 31, verificando-se o oposto em relação ao alumínio.

Quadro 4.8 – Análises químicas semiquantitativas dos filmes amarelo alaranjados obtidas por MEV

	PS 11 (Face interior) (%)	PS 11 (Filme) (%)	PS 31 (Filme) (%)	PS 32 (Filme) (%)
SiO ₂	62,19	51,76	50,56	60,47
TiO ₂	0,13	0,20	0,27	0,15
Al ₂ O ₃	15,59	14,91	16,25	26,14
Fe ₂ O ₃	0,92	3,18	3,25	4,81
MgO	0,12	0,42	0,43	0,82
MnO	0,16	0,24	0,10	0,03
Na ₂ O	1,55	1,18	1,45	1,13
K ₂ O	4,56	2,10	2,42	2,48
CaO	9,37	6,42	5,99	2,84
P ₂ O ₅	0,00	2,34	2,64	0,00
SO ₃	5,18	0,00	0,00	0,00
CoO	0,09	0,00	0,00	0,00
NiO	0,00	0,14	0,00	0,06
PbO	0,03	16,64	16,39	0,75
Cr ₂ O ₃	0,00	0,05	0,06	0,00
V ₂ O ₃	0,00	0,13	0,01	0,00
As ₂ O ₃	0,11	0,30	0,18	0,32
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A cristalização dos minerais de sais solúveis na rede porosa das rochas graníticas utilizadas na Igreja de Paço de Sousa está na origem da maior parte das deteriorações da pedra. A acção destes minerais é tanto mais destrutiva quanto maiores as suas solubilidade e higroscopicidade, quanto maiores as forças de cristalização que se desenvolvem no seu processo de crescimento, bem como quanto maior o número de ocorrências de ciclos de cristalização/dissolução ou cristalização/deliquescência (Hammecker, 1993, Begonha, 1997, 2001).

Os sais precipitam quando uma solução se torna saturada relativamente a um sal específico. Arnold (1984) verificou que os sais solúveis ocorrem concentrados nos locais onde a água se move numa direcção e se evapora, como nas zonas mais altas da humidade ascensional, lateralmente a zonas onde a água corre ao longo da superfície e zonas onde a água atinge a superfície e se evapora.

Steiger e Zeunert (1996) mostraram que os sistemas salinos que se aproximam dos que ocorrem em casos reais (formados por misturas de sais solúveis) são muito diferentes em termos das suas características físicas e químicas dos sistemas constituídos por um único sal solúvel. O conceito de humidades de saturação de um sal individual não é aplicável às misturas de sais. As humidades relativas de deliquescência dos sais num sistema salino são inferiores às obtidas de soluções com um único sal.

Na Igreja de Paço de Sousa, não há um zonamento vertical segundo as solubilidades dos minerais de sais solúveis, defendido por Arnold e Zehnder (1987). Efectivamente, no portal Oeste, em zonas sujeitas a ascensão capilar de soluções salinas a partir do solo, o gesso, mineral pouco solúvel, cristaliza entre 0,21 metros de altura e os 3,53 metros, chegando a recobrir na íntegra os minerais do granito. A halite e a nitratite, minerais muito solúveis, cristalizam entre os 0,21 metros e os 2,15 metros. A calcite, mineral muito pouco solúvel, ocorre apenas a cotas elevadas entre os 2,35 metros e os 3,90 metros. Constatase, assim, a associação de dois minerais mais solúveis como a halite (cloreto) ou a nitratite (nitrato) com um mineral menos solúvel como o gesso (sulfato) desde os 0,21 metros até aos 2,15 metros de altura acima do pavimento (Figuras 4.2b, 4.6f, 4.25a, 4.25b, 4.25c).

Do mesmo modo, não se verifica qualquer tipo de zonamento na parede Norte da capela-mor. Os carbonatos, minerais muito pouco solúveis aparecem a cotas muito elevadas, contrariamente ao modelo de Arnold e Zehnder (1987). Assim, a calcite cristaliza entre os 0,17 metros de altura e os 5,05 metros e a trona e a gaylussite ocorrem entre os 4,55 metros e os 4,70 metros. A associação do gesso (pouco solúvel) com a nitratite (muito solúvel) na amostra PS 23 (3,15 metros a 3,35 metros de altura) (Figuras 4.11c, 4.11d) e da trona e gaylussite (pouco solúveis) com a halite e o niter (muito solúveis) na amostra PS 21 (4,55 metros a 4,70 metros de altura) confirmam uma vez mais a ausência de zonamento em altura dos minerais de sais solúveis nesta parede.

A ausência de um zonamento sequencial em altura dos minerais de sais solúveis confirma observações anteriores em alguns monumentos graníticos da região Norte de Portugal, nomeadamente no Hospital de Santo António (Begonha, 1997, 2001), na Igreja de São João de Tarouca (Begonha, 2002a), na Igreja de Nossa Senhora da Ajuda, Matriz de Espinho (Begonha 2003a), na Igreja de São João Baptista, Matriz de Vila do Conde (Begonha, 2003d), na Igreja de Nossa Senhora da Assunção, Matriz de Caminha (Begonha 2004b), na Igreja de Nossa Senhora da Lapa, no Porto (Begonha, 2005), no exterior do Palácio da Bolsa, no Porto (Begonha, 2006) e na Igreja de Santa Clara, em Vila do Conde (Costa Leite, 2008)

A halite encontrada na fachada Oeste tem origem na influência do Oceano Atlântico na composição das águas das chuvas, tal como o demonstraram Begonha et al. (1995, 1996) e Begonha e Sequeira Braga (1996a, 1996b) e Begonha (1997, 2001) nos estudos realizados sobre a composição das águas das chuvas nos centros urbanos do Porto e de Braga.

Em Paço de Sousa, a origem do gesso não deverá ser atribuída à poluição atmosférica, uma vez que o reduzido número de cinzas volantes observadas nas amostras da fachada Oeste e a ausência de crostas negras e de filmes negros indiciam níveis de poluição do ar pouco significativos na região. A origem do ião sulfato, necessário para a formação do gesso, poderá advir da composição da água da chuva, tal como foi verificado em regiões sem elevados níveis de poluição do ar como Braga (Begonha et al., 1995, 1996, Begonha e Sequeira Braga, 1996a, 1996b e Begonha, 1997, 2001) e a região dos Vagos

(Fritz e Jeannette, 1981). Nestas duas regiões, os teores em ião sulfato das águas das chuvas são próximos dos registados nas regiões com altos índices de poluição atmosférica que serviram como termo de comparação, respectivamente as cidades do Porto e de Estrasburgo. Pelo contrário, os teores em ião cálcio nas águas das chuvas das duas regiões com baixos índices de poluição atmosférica são muito inferiores aos determinados nas águas das chuvas das duas cidades. Assim se compreende a inexistência de crostas negras em Braga e na região dos Vosgos e a sua presença generalizada no Porto e em Estrasburgo.

Põe-se a questão da origem do cálcio, indispensável para a formação do gesso. Fontes prováveis deste elemento podem ser diversas, designadamente as argamassas de cal das juntas, as argamassas de cimento aplicadas sobretudo no interior da igreja, a cal empregue nos enterramentos efectuados no interior e na vizinhança do monumento e, também, as próprias águas das chuvas, que, apesar dos baixos teores de poluição antropogénica do ar, contêm sempre alguma quantidade de cálcio.

No interior da igreja, a formação da trona e da gaylussite, nas eflorescências pulverulentas situadas sobre as argamassas de cimento ou sobre as zonas adjacentes das pedras de granito na parede Norte da capela-mor, deverá resultar da mobilização dos iões sódio e por vezes cálcio com o ião carbonato, provenientes das argamassas e, eventualmente, das soluções salinas que ascenderam por capilaridade a partir do solo.

Os filmes de tons amarelo alaranjados, presentes no portal Oeste, são contínuos e de pequena espessura, acompanhando a topografia da superfície do substrato granítico. Revestem na sua totalidade a superfície das pedras, sendo constituídos por um material de composição heterogénea de granulometria muitíssima fina e homogénea.

Os resultados das análises químicas revelam diferenças entre a composição das faces interiores das placas e a composição dos filmes existentes nas superfícies exteriores das mesmas. O facto de as faces interiores terem maiores teores em silício, potássio e sódio do que os filmes deve-se à composição química dos principais minerais constituintes do granito, quartzo, feldspato potássico e plagioclase sódica, ricos exactamente nestes elementos químicos. Os maiores quantitativos em cálcio e em enxofre nas faces interiores das placas relativamente aos filmes provêm da cristalização do gesso, responsável pela génese das placas. Os filmes são maioritariamente constituídos por silício, consistente com a composição dos produtos de silicone aplicados como consolidantes no portal Oeste da Igreja de Paço de Sousa. Os quantitativos em chumbo, ferro, fósforo e magnésio são mais elevados nos filmes amarelo alaranjados do que nas superfícies interiores das placas, mas variam de amostra para amostra. Estes elementos químicos poderão eventualmente estar associados à composição do produto silicone aplicado e as diferenças nas concentrações de amostra para amostra podem ser explicadas ou por diferente número de demãos aplicadas de local para local ou por diferentes concentrações do próprio produto aplicado.

5

CONCLUSÕES

As pedras da Igreja de Paço de Sousa exibem estados avançados de degradação da pedra, estando afectadas principalmente por desagregação granular, placas, colonização biológica e eflorescências pulverulentas. A maior parte destas deteriorações resulta essencialmente da cristalização de minerais de sais solúveis na rede porosa dos granitos e aplitos com meteorização herdada da pedreira.

Os processos de meteorização e deterioração da pedra conduziram, no aplito com turmalina, à formação de uma rede porosa bimodal muito bem interligada que possibilita a ascensão rápida e eficaz de soluções salinas por capilaridade a partir do solo e a transferência por capilaridade das águas das chuvas a partir do próprio material pétreo, juntas abertas, fendas e infiltrações pelas coberturas e a uma cinética de evaporação intensa e rápida.

Não se verifica um zonamento vertical segundo as solubilidades dos minerais de sais solúveis nas zonas afectadas por ascensão capilar a partir do solo, dado que se constata a associação de minerais muito solúveis como cloretos e nitratos com minerais menos solúveis como sulfatos e carbonatos a diferentes alturas.

A halite, encontrada na fachada Oeste, tem origem na influência do Oceano Atlântico na composição química das águas das chuvas.

A origem do gesso não deverá ser atribuída à poluição atmosférica, uma vez que o reduzido número de cinzas volantes observadas nas amostras da fachada Oeste e a ausência de crostas negras e de filmes negros indiciam níveis de poluição do ar pouco significativos na região. A origem do ião sulfato, necessário para a formação do gesso, poderá advir da composição da água da chuva. As fontes prováveis do cálcio poderão ser as argamassas de cal das juntas, as argamassas de cimento aplicadas sobretudo no interior da igreja, a cal empregue nos enterramentos efectuados no interior e na vizinhança do monumento e, também, as próprias águas das chuvas, que, apesar dos baixos teores de poluição antropogénica do ar, contêm sempre alguma quantidade deste elemento químico.

A formação da trona e da gaylussite nas eflorescências pulverulentas no interior da igreja, situadas sobre as argamassas de cimento ou sobre as zonas adjacentes das pedras de granito na parede Norte da capela-mor, deverá resultar da mobilização dos iões sódio e por vezes cálcio com o ião carbonato, provenientes das argamassas e, eventualmente, das soluções salinas que ascenderam por capilaridade a partir do solo.

Os filmes de tons amarelo alaranjados, presentes no portal Oeste, são contínuos, de pequena espessura e revestem a superfície das pedras na sua totalidade. São maioritariamente constituídos por silício, facto que é consistente com a composição dos produtos de silicone aplicados como consolidantes em diversos monumentos portugueses na década de oitenta do século XX. A composição química dos

filmes revela quantitativos elevados em chumbo, ferro, fósforo e magnésio que poderão eventualmente estar associados à composição do produto silicone aplicado. As diferenças registadas nas diversas amostras podem ser explicadas ou por diferente número de demãos aplicadas de local para local ou por diferentes concentrações do próprio produto aplicado.

6

PROPOSTA DE TRATAMENTO DA PEDRA

A metodologia da limpeza e tratamento da pedra proposta nesta dissertação compreende as seguintes fases:

- reparação e/ou substituição parcial ou integral das coberturas;
- drenagem superficial, impermeabilização das fundações e ventilação dos pavimentos;
- limpeza da pedra;
- limpeza e preenchimento das juntas;
- eliminação da colonização biológica;
- consolidação das áreas mais intensamente afectadas por desagregação granular;
- hidrofugação das superfícies tratadas;
- colocação de dispositivos de afastamento das aves.

Os trabalhos de intervenção deverão ser efectuados por empresas e por técnicos superiores de restauro com experiência em particular na limpeza e tratamento de edifícios construídos com rochas graníticas, dadas as características próprias deste tipo de rochas.

REPARAÇÃO E/OU SUBSTITUIÇÃO PARCIAL OU INTEGRAL DAS COBERTURAS

É indispensável proceder à averiguação do estado de conservação das coberturas para que se possa estabelecer um plano de reabilitação das mesmas, de maneira a evitar as situações actuais em que se verificam infiltrações das águas das chuvas e impedir novas ocorrências a curto e médio prazo.

DRENAGEM SUPERFICIAL, IMPERMEABILIZAÇÃO DAS FUNDAÇÕES E VENTILAÇÃO DOS PAVIMENTOS

Nas zonas mais baixas do monumento, sujeitas à ascensão de soluções salinas a partir do solo, a metodologia proposta só conduzirá a uma diminuição ou eliminação do processo de decaimento da pedra, se forem implementadas medidas que permitam uma drenagem eficaz das águas superficiais, evitando desta forma a ascensão capilar da água. Recomenda-se também, para minorar o fenómeno da ascensão capilar, a impermeabilização das fundações com recurso a caldas de injeção e/ou resinas epoxy, bem como o arejamento das fundações.

LIMPEZA DA PEDRA

As pedras que exibem maior quantidade de poeiras deverão ser limpas com escova macia, de modo a retirar a sujidade sem danificar o substrato pétreo. A escovagem deverá ser de preferência a seco, mas se tal não for eficaz, dever-se-á utilizar o processo de limpeza com água nebulizada acompanhada de limpeza com escova macia de nylon ou de piaçaba.

LIMPEZA E PREENCHIMENTO DAS JUNTAS

Dever-se-á remover as argamassas de cimento empregues no preenchimento de muitas juntas e aplicadas como material de reconstituição, dado o seu efeito prejudicial. Estas argamassas, bem como as de cal que se encontrem deterioradas, deverão ser removidas por meios mecânicos sem danificar as pedras de granito e, posteriormente, limpas com ar comprimido.

Após a limpeza, as juntas deverão ser preenchidas com uma argamassa de cal hidráulica e com areias siliciosas de granulometria apropriada. A aplicação das argamassas nas cornijas deverá ser extremamente cuidada, de modo a impedir a percolação das águas pluviais através das juntas.

ELIMINAÇÃO DA COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA

O arranque dos exemplares de plantas superiores mais fortemente enraizados nas juntas ou fendas pode danificar as pedras adjacentes. As plantas superiores deverão ser mortas com aplicação de um biocida sistémico (herbicida) para eliminar as espécies presentes que, só posteriormente, deverão ser removidas de forma a não danificar a pedra de granito. Esta operação deverá ser executada antes da limpeza e tratamento das juntas onde ocorre o desenvolvimento de plantas superiores.

Nas áreas onde se verifica o desenvolvimento de líquenes e de microorganismos, dever-se-á proceder à sua eliminação por meio da aplicação de um biocida adequado à base de sais de amónio quaternário. Nas áreas onde se verifica uma maior intensidade da colonização biológica, recorrer-se-á a um maior número de aplicações a pincel ou com aspersor, seguindo-se criteriosamente as instruções do fabricante e as recomendações de segurança do mesmo relativamente à protecção a ter com o técnico aplicador e outras pessoas próximas do local. Durante a aplicação e período de cura do produto, as áreas tratadas devem ser protegidas da chuva.

Previamente à remoção do material biológico, dever-se-á proceder à confirmação de que todas as plantas estão mortas. A raspagem dos líquenes vivos evidencia uma componente esverdeada subjacente. Quando tal suceder, será necessário efectuar nova aplicação do biocida. Após um período não inferior a quatro semanas de actuação (com confirmação de que todos os exemplares estão mortos), as plantas deverão ser removidas com escovas macias de piaçaba ou de nylon e, eventualmente, com o auxílio de pequenas quantidades de água, de preferência pelo sistema de água nebulizada. A limpeza deverá ser realizada de modo a que o edifício exiba uma patina o mais homogênea possível, e não se observem contrastes inestéticos nos tons das cores finais.

Mesmo os biocidas mais eficazes não impedem o reaparecimento de plantas a médio ou a longo prazo, como tal será necessário proceder-se à sua reaplicação com certa regularidade.

CONSOLIDAÇÃO DAS ÁREAS MAIS AFECTADAS POR DESAGREGAÇÃO GRANULAR

Nas pedras mais intensamente afectadas por desagregação granular, nomeadamente no portal Oeste, dever-se-á aplicar um produto destinado a consolidar as zonas onde a coesão da rocha é fraca ou quase nula. Neste local não parece ser necessária uma pré-consolidação, uma vez que as mesmas já foram consolidadas nos anos oitenta do século XX.

O consolidante a utilizar deverá ser à base de ortossilicato de tetraetilo, disponível em várias marcas no mercado. A aplicação do consolidante será executada por um técnico de restauro experimentado. A presença de quantidades significativas de minerais de sais solúveis, não visíveis macroscopicamente nas pedras afectadas por desagregação granular em virtude de estes minerais cristalizarem no interior da rede porosa do granito, pode diminuir a eficácia destes produtos, pelo que se recomenda a realização de aplicações experimentais do consolidante quer no local quer em laboratório, utilizando provetes do próprio monumento e não quaisquer outros obtidos em pedreira, uma vez que as características do meio poroso destes últimos ser totalmente distinto dos primeiros (Costa, 2007). Para além disso, será imprescindível realizar ensaios laboratoriais, uma vez que dever-se-á verificar qualquer tipo de reacção química que possa ocorrer entre o consolidante anteriormente aplicado e o proposto e averiguar a eficácia do novo consolidante devido a presença do anterior.

O consolidante deve ser aplicado até recusa aparente, de modo a conseguir-se uma profundidade de penetração o maior possível, seguindo-se as instruções do fabricante. As pedras deverão estar limpas e secas, não podendo o produto ser aplicado em superfícies molhadas. Após a aplicação, o produto tem um tempo de cura de pelo menos três semanas, pelo que as superfícies consolidadas deverão continuar protegidas da chuva durante este intervalo de tempo.

APLICAÇÃO DE UM PRODUTO HIDRÓFUGO

A redução da entrada de água por capilaridade após a aplicação de um consolidante não impede a entrada quer das soluções salinas a partir do solo, quer das águas da chuva, não reduzindo assim significativamente a progressão dos processos de decaimento da pedra. Recomenda-se, pois, a aplicação de um produto hidrófugo após o período de cura do consolidante. Não é aconselhável a aplicação de um produto simultaneamente consolidante e hidrófugo, dado que ensaios anteriormente realizados (Begonha, 2003c) mostraram que a profundidade de penetração deste tipo de produtos é insuficiente.

O produto hidrófugo a utilizar deverá ser à base de um polisiloxano de modo a tornar as superfícies hidro-repелentes. O produto deve ser aplicado por um técnico de restauro, seguindo rigorosamente as instruções do fabricante. Estes produtos têm uma elevada eficácia (Begonha e Fojo, 2006, Fojo, 2006), mas o período de actuação não é, em geral, muito longo, pelo que se torna necessária a sua reaplicação com uma certa periodicidade.

Dever-se-á ter em especial atenção a aplicação do produto hidrófugo nas cornijas da fachada, de modo a evitar a entrada e passagem de água por capilaridade através das pedras.

COLOCAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE AFASTAMENTO DAS AVES

Não parece ser actualmente absolutamente necessária a colocação de dispositivos electrostáticos de afastamento das aves, atendendo não só aos elevados custos que tal sistema acarreta, mas também ao facto de, nas deslocações ao monumento, não ter sido registada actividade significativa de pombos ou de gaivotas no local.

BIBLIOGRAFIA

- AIRES-BARROS, L., 1991 - "Alteração e alterabilidade de rochas" - Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa, 384 pp.
- ALVES, C., 1997 - "Estudo da deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos da cidade de Braga (Norte de Portugal). Implicações na conservação do Património Construído". Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 291 pp.
- ALVES, C., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 1993 - "Sais solúveis presentes em monumentos graníticos de Braga" in *Proceedings IX Semana de Geoquímica e II Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa-Porto 1993*, (eds. F. Noronha, M. Marques e P. Nogueira), Porto, pp. 525-529.
- ALVES, C., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 1994 - "Acção deteriorante da cristalização de sais em monumentos graníticos (um exemplo em Braga, Portugal)" in *Proceedings Scientific Meeting - Granitic Materials and Historical Monuments-Braga 1994*, Braga.
- ALVES, C., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 1995 - "Transferências de soluções e deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos de Braga (Portugal)" in *Proceedings 1º Congresso Internacional da Pedra Natural-Lisboa 1995*, pp. 281-292.
- ALVES, C., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 1996 - "Salt systems on granitic monuments (Braga - NW Portugal)" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5, pp. 109-114.
- ALVES, C., JEANNETTE, D., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 1993 - "Origin of porosity in the Braga granite and implications in Braga (NW Portugal) monuments degradation" - *Terra abstracts*, N°. 1, vol. 5, EUG VII, Strasbourg, p. 621.
- ALVES, C., SEQUEIRA BRAGA, M.A., HAMMECKER, C., 1996 - "Water transfer and decay of granitic stones in monuments" - *C.R. Académie Sciences de Paris*, T. 323, Série Ila, Paris, pp. 397-402.
- AMOROSO, G.G., FASSINA, V., 1983 - "Stone decay and Conservation" - Elsevier, Materials Science Monographs, 11, 453 pp.
- ARNOLD, A., 1976 - "Behaviour of some soluble salts in stone deterioration" in *Proceedings 2nd International Symposium on the Deterioration of Building Stones-Athens 1976*, pp. 27-36.
- ARNOLD, A., 1978 - "Documentation sur l'altération et la conservation des monuments en pierre" - in *Proceedings Colloque International UNESCO/RILEM Altération et protection des Monuments en pierre-Paris 1978*, sect. 1.2, pp. 1-31.
- ARNOLD, A., 1984 - "Determination of mineral salts from monuments" - *Studies in Conservation*, vol. 29, pp. 129-138.
- ARNOLD, A., KUENG, A., 1985 - "Crystallization and habits of salt efflorescences on walls I - methods of investigation and habits" in *Proceedings 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lausanne 1985*, pp. 255-267.
- ARNOLD, A., ZEHNDER, K., 1985 - "Crystallization and habits of salt efflorescences on walls II - conditions of crystallization" in *Proceedings 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lausanne 1985*, pp. 269-277.

ARNOLD, A., ZEHNDER, K., 1987 - "Monitoring wall paintings affected by soluble salts" in *Proceedings Symposium The Conservation of Wall Paintings-London 1987*, (ed. Sharon Cather), Courtauld Institute of Art and the Getty Conservation Institute, London, pp. 103-135.

ARNOLD, A., ZEHNDER, K., 1988 - "Decay of stony materials by salts on humid atmosphere" in *Proceedings 6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Torun 1988*, pp. 138-148.

ARNOLD, A., ZEHNDER, K., 1989 - "Salt weathering on monuments" in *Proceedings 1st Symposium La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Bari 1989*, (ed. Fulvio Zezza), Grafo, Brescia, pp. 31-58.

BEAUCOURT, F., 1975 - "Les types d'altérations des roches calcaires: caractères chimiques et pétrographiques" in *Les Monuments Historiques de la France - La Maladie de la Pierre*, numéro hors série, pp. 21-26.

BEAUCOURT, F., JATON, C., 1975 - "Morphologie des altérations des calcaires" in *Les Monuments Historiques de la France - La Maladie de la Pierre*, numéro hors série, pp. 16-21.

BEGONHA, A., 1997 – “*Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto*” – Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 393 pp.

BEGONHA, A., 2000 – “*Estudo da Patologia da Pedra do Mosteiro de S. Miguel de Refojos em Cabeceiras de Basto*”, Porto, 73 pp.

BEGONHA, A., 2001 – “*Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto*” – FEUP-Edições, Coleção Monografias, 2, Porto, 445 pp.

BEGONHA, A., 2002a – “*Igreja de S. João de Tarouca: Estudo da Deterioração da Pedra*”, Porto, 68 pp.

BEGONHA, A., 2002b – “*Estudo da Deterioração da Pedra: Casa do Sr. Dr. João Morais Cabral em Vila Praia de Âncora*”, Porto, 29 pp.

BEGONHA, A., 2002c – “*Estudo da Patologia da Pedra da Igreja de S. Pedro de Rates*”, Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas, FEUP, Porto, 85 pp.

BEGONHA, A., 2002d – “*Igreja de S. Pedro de Rates: Estudo da deterioração da pedra*” in *A Intervenção no Património: Práticas de Conservação e Reabilitação*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, (eds. A. Costa, J. Miranda Guedes, P. Silva, E. Paupério), Porto, pp. 309-332.

BEGONHA, A., 2003a – “*Igreja de Nossa Senhora da Ajuda, Matriz de Espinho: Estudo da Deterioração e do Tratamento da Pedra*”, Porto, 52 pp.

BEGONHA, A., 2003b – “*Chafariz de Caminha: Estudo da Deterioração e do Tratamento da Pedra*”, Porto, 30 pp.

BEGONHA, A., 2003c – “*Estudo da Aplicação de Consolidantes em Pedras da Igreja de S. Pedro de Rates*” – Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas, FEUP, Porto, 66 pp.

BEGONHA, A., 2003d – “*Igreja de S. João Baptista, Matriz de Vila do Conde: Estudo da Deterioração e do Tratamento da Pedra*” – Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas, FEUP, Porto, 74 pp.

- BEGONHA, A., 2004a – “*Convento de São Gonçalo de Amarante: Estudo Diagnóstico e Proposta de Tratamento da Pedra*” – Relatório no âmbito do Protocolo DGEMN-FEUP – Estudo dos Materiais Pétreos e Argamassas, FEUP, Porto, 135 pp.
- BEGONHA, A., 2004b – “*Igreja de Nossa Senhora da Assunção, Matriz de Caminha: Estudo da Deterioração da Pedra – Diagnóstico e Tratamentos*”, Porto, 80 pp.
- BEGONHA, A., 2005 – “*Patologia da Pedra na Fachada Principal da Igreja de Nossa Senhora da Lapa no Porto: Diagnóstico e Proposta de Tratamento*”, Porto, 87 pp.
- BEGONHA, A., 2006 – “*Patologia da Pedra do Palácio da Bolsa no Porto: Diagnóstico e Proposta de Tratamento*”, Porto, 50 pp.
- BEGONHA, A., ALMEIDA, A., 2003 – “The Faculty of Sciences in Oporto: deterioration of the granitic stones”, *Proceedings IV Congresso Ibérico de Geoquímica e XIII Semana de Geoquímica*, Coimbra, pp. 297-300.
- BEGONHA, A., ALMEIDA, A., OLIVEIRA, R., 2004 – “Stone decay in the building of the Faculty of Sciences in Oporto”, *Proceedings Natural and Cultural Landscapes: The Geological Foundation*, Royal Irish Academy, (ed. Matthew Parkes), Dublin, pp. 215-218.
- BEGONHA, A., FOJO, A., 2006 – “*Igreja de Nossa Senhora da Assunção, Matriz de Caminha: Estudo da Aplicação de Consolidantes nas Pedras de Microgranito dos Portais Oeste e Sul e de Hidrófugos na Fachada Norte*”, Porto, 90 pp.
- BEGONHA, A., JEANNETTE, D., HAMMECKER, C., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 1994 - "Physical characteristics of the Oporto granite related to stone decay in monuments" in *Proceedings 3º Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Venezia 1994*, (eds. V. Fassina, H. Ott e F. Zezza), Venezia, pp. 541-546.
- BEGONHA, A., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 1993 - "Stone weathering and deterioration in a granitic monument" in *Proceedings ISRM International Symposium on Safety and Environmental Issues in Rock Engineering Eurock' 93-Lisboa 1993*, (eds. Ribeiro e Sousa e Grossmann), Balkema, Rotterdam, pp. 267-274.
- BEGONHA, A., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 1994 - "Stone decay in the Hospital de Santo António: the role of granite weathering and the impact of air pollution" in *Proceedings Scientific Meeting - Granitic Materials and Historical Monuments-Braga 1994*, Braga.
- BEGONHA, A., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 1995 - "A meteorização do granito do Porto" in *Proceedings IV Congresso Nacional de Geologia-Porto 1995*, (coord. F. Sodré Borges e M.M. Marques), Universidade do Porto - Faculdade de Ciências - Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, *Memórias*, Nº. 4, pp. 171-175.
- BEGONHA, A., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 1996a - "Characterization of black crusts and thin black layers in granitic monuments: the role of air pollution" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report Nº. 5, pp.121-126.
- BEGONHA, A., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 1996b - "Black crusts and thin black layers in granitic monuments: their characterization and the role of air pollution" in *Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Berlin 1996*, (ed. Josef Riederer), vol. 1, Berlin, pp. 371-375.

BEGONHA, A., SEQUEIRA BRAGA, M.A., 2000 – “Study of stone deterioration in the cloister of the Mosteiro de Grijó, Portugal” in *Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, (ed. Vasco Fassina), , vol. 2, Venezia, pp. 689–696.

BEGONHA, A., SEQUEIRA BRAGA, M.A., GOMES DA SILVA, F., 1995 – "A acção da água da chuva na meteorização de monumentos graníticos" in *Proceedings IV Congresso Nacional de Geologia-Porto 1995*, (coord. F. Sodré Borg s e M.M. Marques), Universidade do Porto - Faculdade de Ciências - Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, *Memórias*, N . 4, pp. 177-181.

BEGONHA, A., SEQUEIRA BRAGA, M.A., GOMES DA SILVA, F., 1996 - "Rain water as a source of the soluble salts responsible for stone decay in the granitic monuments of Oporto and Braga - Portugal" in *Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Berlin 1996*, (ed. Josef Riederer), vol. 1, Berlin, pp. 481-487.

BERNABÉ, E., BROMBLET, P., ROBERT, M., 1995 - "R le de la cristallisation du natron dans la d sagr gation sableuse d' un monument granitique en Bretagne" - *C.R. Académie Sciences de Paris*, T. 320, Série II a, Paris, pp. 571-578.

BERNABÉ, E., BROMBLET, P., VERGES-BELMIN, V., 1996 - "Presence of calcium monochloro-aluminate and ettringite in the original masonry core mortar of a granitic monument. Relation with the granular disintegration of the ashlar" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N . 5, pp. 115-119.

BR , J.M.O., 2007 – “Estudo da deterioração da pedra na Capela do Senhor da Pedra e proposta de tratamento” – Trabalho final de projecto, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 117 pp.

BROMBLET, P., 1989 - "*Les d gradations des pierres gr seuses des temples de Karnak (Egypte). Analyse p trologique des mécanismes, et histoire de ces d gradations*" - Tese de Doutoramento, Universit  de Paris VII, Paris, 201 pp.

CAMUFFO, D., 1988 - "Surface moisture and conservation" - *European Cultural Heritage Newsletter*, vol. 2, N . 5, pp. 6-10.

CAMUFFO, D., BERNARDI, A., ZANETTI, M., 1988 - "Analysis of the real- time measurement of pH of rainfall at Padova, Italy: seasonal variation and meteorological aspects" - *The Science of the Total Environment*, 71, pp. 187-200.

CASAL PORTO, M., 1989 - "*Estudio de la alteración del granito en los edificios de interés histórico de la provincia de La Coruña*" - Tese de doutoramento, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 273 pp.

CASAL PORTO, M., DELGADO RODRIGUES, J., SILVA HERMO, B., 1992 - "Construction materials and decay problems of Salom  church in Santiago de Compostela" in *Proceedings 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lisboa 1992*, (eds. J. Delgado Rodrigues, Fernando Henriques e F. Telmo Jer mias), LNEC, vol. 1, Lisboa, pp. 3-10.

CASAL PORTO, M., SILVA HERMO, B.M., DELGADO RODRIGUES, J., 1991 - "Agents and forms of weathering in granitic rocks used in monuments" in *Proceedings European Symposium Science, Technology and European Heritage-Bologna 1989*, (eds. N.S. Baer, C. Sabbioni e A.I. Sors), Commission of the European Communities, Butterworth - Heinemann, Oxford, pp. 439-442.

- CASAL PORTO, M., SILVA HERMO, B.M., GUITIÁN, F., 1989 - "Estado de alteración del granito en edificios monumentales en Santiago y La Coruña" - *Cuaderno do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, vol. 14, pp. 43-54.
- CASTRO, E., 1974 - "Determination of the pore-size distribution in stones by means of the moisture suction" - *LNEC, Memória*, N.º. 441, Lisboa, 11 pp.
- CASTRO, E., 1977 - "Détermination de la porométrie et de la surface spécifique des pierres par des essais de succion" - *LNEC, Memória*, N.º. 490, Lisboa, 16 pp.
- CASTRO, E., 1979a - "Les méthodes de succion dans l' étude de l' altération des pierres" - *LNEC, Memória*, N.º. 516, Lisboa, 29 pp.
- CASTRO, E., 1979b - "Évaluation de l' hygroscopicité des pierres" - *LNEC, Memória*, N.º. 526, Lisboa, 22 pp.
- CASTRO, E., 1981 - "Quelques études sur l' efficacité et la durabilité de deux traitements appliqués à un calcaire" - *LNEC, Memória*, N.º. 563, Lisboa, 13 pp.
- CASTRO, E., 1983 - "Studies on stone treatments" - *LNEC, Memória*, N.º. 584, Lisboa, 6 pp.
- CASTRO, E., 1985 - "*Estudos sobre tratamentos de protecção de pedras contra os agentes atmosféricos e a poluição*" - Proc. 54/11/7390 e Proc. 54/1/7881, Lisboa, 54 pp.
- CASTRO, E., 1988 - "The interest of pore-size distribution in the identification of marbles suction methods" - *LNEC, Memória*, N.º. 721, Lisboa, 12 pp.
- CASTRO, E., CRAVO, M.R., 1987 - "A civilização e a deterioração dos monumentos de pedra" - *LNEC, Memória*, N.º. 689, Lisboa, 10 pp.
- CASTRO, E., DELGADO RODRIGUES, J., 1987 – “Parecer sobre a conservação de duas igrejas, nos Açores” – Nota técnica N.º 12/87-NP, 7 pp.
- CASTRO, E., DELGADO RODRIGUES, M.P., 1989a - "*Parecer sobre a conservação do Pavimento da Biblioteca Joanina, em Coimbra*" - Relatório 245/89 - NP/NQ, Lisboa, 9 pp.
- CASTRO, E., DELGADO RODRIGUES, J., 1989b - "A alteração e a conservação da Cruz de Portugal, em Silves" - *LNEC, Memória*, N.º. 732, Lisboa, 11 pp.
- CASTRO, E., DELGADO RODRIGUES, J., CRAVO, M.R.T., 1985 - "Étude du nettoyage de la façade d' une église à Lisbonne (Igreja da Conceição Velha)" - *LNEC, Memória*, N.º. 657, Lisboa, 7 pp.
- CASTRO, E., DELGADO RODRIGUES, J., CRAVO, M.R.T., 1987 - "*Estudos sobre a alteração e a conservação do pórtico da Igreja de Bravães*" - Proc. 54/1/8558, Obra 24/53/485, Lisboa, 24 pp.
- CASTRO, E., DELGADO RODRIGUES, J., CRAVO, M.R.T., 1988 - "Étude du nettoyage d' un monument en granite" - *LNEC, Memória*, N.º. 715, Lisboa, 10 pp.
- CASTRO, E., DELGADO RODRIGUES, J., CRAVO, M.R.T., 1990a - "*Estudos relativos à alteração e conservação da fachada da Igreja de Santa Cruz, em Coimbra*" - Relatório 176/90 - NP/NQ, Lisboa, 99 pp.
- CASTRO, E., DELGADO RODRIGUES, J., CRAVO, M.R.T., 1990b - "*Estudos relativos à alteração e à conservação do granito do claustro do Mosteiro de Grijó, em Vila Nova de Gaia*" - Relatório 243/90 - GERO/NQ, Lisboa, 41 pp.
- CASTRO, E., DELGADO RODRIGUES, J., CRAVO, M.R.T., 1991a - "*Estudo relativo à acção dos pombos sobre a pedra das igrejas do Carmo e dos Carmelitas, no Porto, e de São Gonçalo, em Amarante*" - Relatório 44/91 GERO/NQ, Lisboa, 27 pp.

CASTRO, E., DELGADO RODRIGUES, J., CRAVO, M.R.T., 1991b - "*Estudo relativo à alteração e à conservação do granito da Torre dos Clérigos, no Porto*" - Relatório 70/91 - GERO/NQ, Lisboa, 18 pp.

COOPER, T.P., 1989 - "Effects of air pollution on historic buildings and monuments" - *European Community R&D on Environmental Protection Research Reviews*, Publication N°. EUR 11626 of the Commission of the European Communities, 56 pp.

COOPER, T.P., 1993 - "Conservation of historic buildings, monuments and associated cultural property" - *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, vol. 7, N°. 1-4, pp. 43-48.

COOPER, T.P., 1994 - "Effects of air pollution on historic buildings and monuments (1986-1990). Scientific basis for conservation: air pollution levels, stone decay rates and their interrelation at historic monuments" - *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, vol. 8, N°. 2, pp. 13-21.

COOPER, T.P., DOWDING, P., LEWIS, J.O., MULVIN, L., O' BRIEN, P., OLLEY, J., O' DALY, G., 1991 - "Contribution of calcium from limestone and mortar to the decay of granite walling" in *Proceedings European Symposium Science, Technology and European Heritage-Bologna 1989*, (eds. N.S. Baer, C. Sabbioni e A.I. Sors), Commission of the European Communities, Butterworth - Heinemann, Oxford, pp. 456-461.

COSTA, D., 2007 – "Avaliação de tratamentos para a conservação de superfícies graníticas arenizadas" – Tese de Especialista do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 217 pp.

COSTA LEITE, A.L., 2008 – "*Estudo da deterioração da pedra na Igreja de Santa Clara em Vila do Conde – Proposta de tratamento*" – Tese de Mestrado Integrado, Universidade do Porto, Porto, 178 pp.

DELGADO RODRIGUES, J., 1978 - "Some problems raised by the study of the weathering of igneous rocks" in *Proceedings Colloque International UNESCO - RILEM Altération et Protection des Monuments en Pierre-Paris 1978*, 16 pp.

DELGADO RODRIGUES, J., 1991 - "Causes, mechanisms and measurement of damage in stone monuments" in *Proceedings European Symposium Science, Technology and European Heritage-Bologna 1989*, (eds. N.S. Baer, C. Sabbioni e A.I. Sors), Commission of the European Communities, Butterworth - Heinemann, Oxford, pp. 124-137.

DELGADO RODRIGUES, J., 1993a - "Conservation of granitic rocks with application to megalithic monuments - granitix" - *European Cultural Heritage Newsletter on Research*, vol. 7, N°. 1-4, pp. 27-33.

DELGADO RODRIGUES, J., 1993b - "Stone conservation in Portugal: problems, methods and means" in *Proceedings International Workshop Conservation of Architectural Surfaces: Stones and Wall Covering-Venezia 1992*, (eds. G. Biscontin e L. Graziano), Il Cardo, pp. 147-154.

DELGADO RODRIGUES, J., 1993c - "Incógnitas e problemas relativos à conservação de rochas graníticas e a sua abordagem nos projectos STEP" in *Alteración de Granitos y rocas afines - Proceedings Workshop Alteración de Granitos y rocas afines, empleados como materiales de construcción-Ávila 1991*, (eds. Vicente Hernández, Molina Ballesteros e Rives Arnau), C.S.I.C., Madrid, pp. 67-73.

- DELGADO RODRIGUES, J., 1996 - "Conclusions report - Project STEP-CT90-0110 - Conservation of granitic rocks with application to the megalithic monuments" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5, pp. 161-242.
- DELGADO RODRIGUES, J., 2000 - "Parecer sobre a conservação da Igreja da Misericórdia, em Braga" – Relatório 130/00 – GERO, Lisboa, 14 pp.
- DELGADO RODRIGUES, J., CASTRO, E., 1989 - "Some remarks on the efficacy and harmfulness of stone cleaning" - *LNEC, Memória*, N°. 739, Lisboa, 7 pp.
- DELGADO RODRIGUES, J., CASTRO, E., 1990 - "*Parecer sobre o estado de conservação da platibanda e dos pináculos do Mosteiro de Santa Clara, em Vila do Conde*" - Relatório 217/90 - NP, Lisboa, 14 pp.
- DELGADO RODRIGUES, J., COSTA, D., 2000 – “Parecer sobre a conservação do Mosteiro de Tibães” - Relatório 61/00 – GERO, Lisboa, 26 pp.
- DELGADO RODRIGUES, J., GIL SARAIVA, J.A., 1985 - "Experimental and theoretical approach to the study of the mechanism of wind erosion of stone in monuments" - *LNEC, Memória*, N°. 654, Lisboa, 9 pp.
- DELGADO RODRIGUES, J., MOURA, M.R.M., SOARES DA SILVA, J.C., 1994 - "Limpeza da Torre dos Clérigos - estudos realizados e trabalhos executados" - *Monumentos*, N°. 1, pp. 68-75.
- DELGADO RODRIGUES, J., COSTA, D., PINTO, A.P.F., 1996 - "Use of water absorption characteristics for the study of stone treatments" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5, pp. 319-324.
- DEL MONTE M., SABBIONI, C., 1987 - "Glassy spherical particles on stone" - *European Cultural Heritage Newsletter*, vol. 1, N°. 4, pp. 4-7.
- DEL MONTE, M., SABBIONI, C., VITTORI, O., 1981 - "Airborne carbon particles and marble deterioration" - *Atmospheric Environment*, vol. 15, N°. 5, pp. 645-652.
- DEL MONTE, M., SABBIONI, C., VENTURA, A., ZAPPIA, G., 1984a - "Crystal growth from carbonaceous particles" - *The Science of the Total Environment*, 36, pp. 247-254.
- DEL MONTE, M., SABBIONI, C., VITTORI, O., 1984b - "Urban stone sulphation and oil-fired carbonaceous particles" - *The Science of the Total Environment*, 36, pp. 369-376.
- DIRECÇÃO GERAL DOS EDIFÍCIOS E MONUMENTOS NACIONAIS, 1939 – “Igreja de Paço de Sousa” – *Monumentos – Boletim da Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais*, 17, 28 pp.
- DIRECÇÃO GERAL DOS EDIFÍCIOS E MONUMENTOS NACIONAIS, 1997 – “Igreja de Paço de Sousa: Igreja do Salvador” – Inventário do Património Arquitectónico, N° IPA PT011311220003, 9 pp.
- DUFFY, A.P., PERRY, S.H., 1994 - "The effects of mortars on granite decay" - in *Proceedings Conference Granite Weathering and Conservation-Dublin 1993*, (eds. E. Bell e T.P. Cooper), Dublin, pp.1-9.

- FASSINA, V., LAZZARINI, L., BISCONTIN, G., 1976 - "Effects of atmospheric pollutants on the composition of black crusts deposited on venetian marbles and stones" in *Proceedings 2nd International Symposium The Deterioration of Building Stones-Athens 1976*, pp. 201-211.
- FASSINA, V., LAZZARINI, L., BISCONTIN, G., CALOGERO, S., 1982 - "Influenza del materiale particellare atmosferico sui processi di degradazione della pietra a Venezia" in *Proceedings 3rd International Symposium on the Deterioration and Preservation of Stones-Venezia 1979*, (ed. B. Badan), Libreria Progetto, Padova, pp. 43-54.
- FEDDEMA, J.J., MEIERDING, T.C., 1987 - "Marble weathering and air pollution in Philadelphia" - *Atmospheric Environment*, vol. 21, N° 1, pp. 143-157.
- FERREIRA, J.F.O., 2004 – “Caracterização da acção da água em edifícios de pedra”. Tese de Mestrado da Universidade do Minho, Guimarães, 177 pp.
- FITZNER, B., 1990 - "Mapping of natural stone monuments - documentation of lithotypes and weathering forms" in *Proceedings Advanced Workshop Analytical Methodologies for the Investigation of Damaged Stones-Pavia 1990*.
- FITZNER, B., HEINRICHS, K., 1991 - "Weathering forms and rock characteristics of historical monuments carved from bedrocks in Petra, Jordan" in *Proceedings European Symposium Science, Technology and European Heritage-Bologna 1989*, (eds. N.S. Baer, C. Sabbioni e A.I. Sors), Commission of the European Communities, Butterworth - Heinemann, Oxford, pp. 908-911.
- FITZNER, B., HEINRICHS, K., 1994 - "Damage diagnosis at monuments carved from bedrocks in Petra, Jordan" in *Proceedings 3° Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Venezia 1994*, (eds. V. Fassina, H. Ott e F. Zezza), Venezia, pp. 663-671.
- FITZNER, B., HEINRICHS, K., KOWNATZKI, R., 1992 - "Classification and mapping of weathering forms" in *Proceedings 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lisboa 1992*, (eds. J. Delgado Rodrigues, Fernando Henriques e F. Telmo Jeremias), LNEC, vol. 2, Lisboa, pp. 957-968.
- FITZNER, B., HEINRICHS, K., VOLKER, M., 1996 - "Monument mapping - a contribution to monument preservation" in *Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments-Bari 1996*, (ed. F. Zezza), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N° 4, pp. 347-355.
- FOJO, A.C.T., 2006 – “Estudo da aplicação de consolidantes e hidrófugos em pedras graníticas da Igreja Matriz de Caminha”. Tese de Mestrado, Universidade do Porto, Porto, 446 pp.
- FORT, R., LOPEZ DE ASCONA, M.C., MINGARRO, F., 1995 - "Petrophysical properties of the stone material of the bell tower of the Cathedral of Toledo (Spain)" in *Proceedings 1° Congresso Internacional da Pedra Natural-Lisboa 1995*, pp. 315-323.
- FRITZ, B., JEANNETTE, D., 1981 - "Péetrographie et contrôle géochimique expérimental de transformations superficielles de grès de monuments" - *Sciences Géologiques*, 34, 4, Strasbourg, pp. 193-208.
- GROUX, D., 1986 - "Rapport d' étude Notre-Dame-la-Grande, Poitiers, Vienne - portail ouest", Poitiers, 22 pp.

- HANEEF, S.J., DICKINSON, C., JOHNSON, J.B., THOMPSON, G.E., WOOD, G.C., 1991 - "Degradation of coupled stones by artificial acid rain solution" in *Proceedings European Symposium Science, Technology and European Heritage-Bologna 1989*, (eds. N.S. Baer, C. Sabbioni e A.I. Sors), Commission of the European Communities, Butterworth - Heinemann, Oxford, pp. 469-473.
- JEANNETTE, D., 1980 - "Les grès du Château du Landsberg: exemple d'évolution des grès vosgiens en milieu rural" - *Sciences Géologiques*, 33, 2, Strasbourg, pp. 111-118.
- JEANNETTE, D., 1981 - "Modifications superficiales de grès en oeuvre dans les monuments alsaciens" - *Sciences Géologiques*, 34, 1, Strasbourg, pp. 37-46.
- JEANNETTE, D., 1982 - "Altérations des grès des monuments alsaciens" - *Encyclopédie de l'Alsace*, vol. I, Strasbourg, pp. 163-168.
- JONES, M.S., O' BRIEN, P.F., HANEEF, S.J., THOMPSON, G.E., WOOD, G.C., COOPER, T.P., 1996 - "A study of decay occurring in Leinster granite, house n° 9, Trinity college, Dublin" in *Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Berlin 1996*, (ed. Josef Riederer), vol. 1, Berlin, pp. 211-221.
- MILLOT, G., COGNE, J., JEANNETTE, D., BESNUS, Y., MONNET, B., GURI, F., SCHIMPF, A., 1967 - "La maladie des grès de la cathédrale de Strasbourg" - *Bulletin Services Géologiques Alsace Lorraine*, 20, 3, Strasbourg, pp.131-157.
- MILLOT, G., JEANNETTE, D., 1975 - "La maladie des pierres de grès: la cathédrale de Strasbourg" - *Les Monuments Historiques de la France - La Maladie de la Pierre*, numéro hors série, pp. 33-35.
- MOUTINHO, A.M., 2005 – “Estudo da deterioração da pedra da Igreja de Santa Maria de Leça do Mosteiro de Leça do Balio” –Contributo para o ensino das Geociências. Tese de Mestrado, Universidade do Porto, Porto, 299 pp.
- O' BRIEN, P.F., COOPER, T.P.C., LYONS, F., 1993 - "Granite decay research in Ireland" in *Alteración de Granitos y rocas afines - Proceedings Workshop Alteración de Granitos y rocas afines, empleados como materiales de construcción-Ávila 1991*, (eds. Vicente Hernández, Molina Ballesteros e Rives Arnau), C.S.I.C., Madrid, pp. 163-166.
- OLIVEIRA, R.M.C., 2001 – “Deterioração de monumentos graníticos: o caso da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto – Abordagem didática” – Tese de Mestrado, Universidade do Porto, Porto, 206 pp.
- ORDAZ, J., ESBERT, R.S., 1985 - "Porosity and capillarity in some sandstone and dolomite monumental stones" in *Proceedings 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Lausanne 1985*, pp. 93-102.
- PELEG, M., BURLA, E., COHEN, I., LURIA, M., 1989 - "Deterioration of Jerusalem limestone from air pollutants; field observations and laboratory simulation" - *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 12, N° 2, pp. 191-201.
- PIMENTEL, N., 1994 – “As formas de relevo e a sua origem” – *Portugal Perfil Geográfico*, Editorial Estampa, Lisboa, pp. 29-50.
- PINTO, A.P.F., 1993 - "*Conservação de pedras graníticas - estudo da acção de hidrófugos*" - Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 345 pp.

RIVAS BREA, T., PRIETO, B., SILVA HERMO, B., 1994 - "Plaque-shedding by granite in the Monastery of San Martín Pinario (Santiago de Compostela, NW Spain)" in *Proceedings 3º Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Venezia 1994*, (eds. V. Fassina, H. Ott e F. Zezza), Venezia, pp. 737-741.

ROBERT, M., BERNABE, E., BROMBLET, P., JAUNET, A.M., VERGES-BELMIN, V., PENVEN, M.J., 1996 - "Identification of two alteration microsystems chemical and physical, causing granite and kersantite degradation in Brittany (France)" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5, pp. 67-71.

ROEKENS, E., VAN GRIEKEN, R., 1989 - "Rates of air pollution induced surface recession and material loss for a cathedral in Belgium" - *Atmospheric Environment*, vol. 22, N°. 1, pp. 271-277.

ROEKENS, E., KOMY, Z., LEYSEN, L., VENY, P., VAN GRIEKEN, R., 1988 - "Chemistry of precipitation near a limestone building" - *Water, Air and Soil Pollution*, 38, 3-4, pp. 273-282.

ROSA, R.N., 1996 - "Contributions to the physical characterization of granitic rocks" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5, pp. 255-260.

SAABY, L., FENGER, J., BRINCH MADSEN, H., ROSENKRANS HØYER, K., HOLM, K., 1989 - "Air pollution and its effect on the Danish cultural heritage" - *European Cultural Heritage Newsletter*, vol. 3, N°. 2, pp. 17-25.

SCHIAVON, N., CHIAVARI, G., FABBRI, D., SCHIAVON, G., 1994 - "Microscopical and chemical analysis of black patinas on granite" in *Proceedings 3º Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Venezia 1994*, (eds. V. Fassina, H. Ott e F. Zezza), Venezia, pp. 93-99.

SCHIAVON, N., CHIAVARI, G., FABBRI, D., SCHIAVON, G., 1996 - "Soiling of urban granite 2: chemical analyses of dark surficial patinas" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5, pp. 313-318.

SEQUEIRA BRAGA, M.A., ALVES, A., BEGONHA, A., 1993 - "Meteorização do granito do Porto e degradação do edifício do Hospital de Santo António: monumento histórico construído com materiais graníticos" in *Alteración de Granitos y rocas afines - Proceedings Workshop Alteración de Granitos y rocas afines, empleados como materiales de construcción-Ávila 1991*, (eds. Vicente Hernández, Molina Ballesteros e Rives Arnau), C.S.I.C., Madrid, pp. 153-154.

SEQUEIRA BRAGA, M.A., ALVES, C., BEGONHA, A., GOMES DA SILVA, F., 1996 - "Industrial and urban pollution impact in Portuguese monuments: comparative study between two regions" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5, pp. 127-132.

SILVA HERMO, B., CASAL PORTO, M., PRIETO, B., RIVAS BREA, T., GUITIÁN, F., 1994 - "Forms and factors of weathering in the Cathedral of Santiago de Compostela (NW Spain)" in *Proceedings 3º Simposio Internazionale La Conservazione dei Monumenti nel Bacino del Mediterraneo-Venezia 1994*, (eds. V. Fassina, H. Ott e F. Zezza), Venezia, pp. 743-748.

SILVA HERMO, B., RIVAS BREA, T., PRIETO, B., 1996a - "Relation between type of soluble salts and decay forms in granitic coastal churches in Galicia (NW Spain)" in *Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments-Bari 1996*, (ed. F. Zezza), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 4, pp. 183-190.

SILVA HERMO, B., RIVAS BREA, T., PRIETO, B., DELGADO RODRIGUES, J., 1996b - "A comparison of the mechanisms of plaque formation and sand disintegration in granite in historical buildings" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5, pp. 269-274.

SMITH, B.J., MAGEE, R.W., WHALLEY, W.B., 1993 - "Decay of granite in a polluted environment: Budapest" in *Alteración de Granitos y rocas afines - Proceedings Workshop Alteración de Granitos y rocas afines, empleados como materiales de construcción-Ávila 1991*, (eds. Vicente Hernández, Molina Ballesteros e Rives Arnau), C.S.I.C., Madrid, pp. 159-162.

STEIGER, M., ZEUNERT, A., 1996 - "Crystallization properties of salt mixtures: comparison of experimental results and model calculations" in *Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Berlin 1996*, (ed. Josef Riederer), vol. 1, Berlin, pp. 535-544.

TABASSO, M.L., 1989 - "La conservazione delle pietre naturali ed artificiali" -I.R.N.A./C.S.I.C., Salamanca, 30 pp.

TELES, M., BEGONHA, A., 1999 – "Parecer sobre o estado de conservação da pedra do Palácio do Freixo", Porto, 39 pp.

VICENTE, M.A., 1996 - "Final report 1991-1994 - Project STEP-CT90-0101 - Granitic materials and historical monuments: study of the factors and mechanisms of weathering and application to historical heritage conservation" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report N°. 5, pp. 1-44.

VICENTE, M.A., GARCIA-TALEGON, J., IÑIGO, A.C.; MOLINA, E., RIVES, V., 1993 - "Weathering mechanisms of silicated rocks in continental environments" in *Proceedings International RILEM/UNESCO Congress Conservation of Stone and other Materials-Paris 1993*, (ed. M. J. Thiel), E & FN Spon, vol. 1, London, pp. 320-327.

WARKE, P.A., SMITH, B.J., 1994 - "Inheritance effects on the efficacy of salt weathering mechanisms in thermally cycled granite blocks under laboratory and field conditions" - in *Proceedings Conference Granite Weathering and Conservation-Dublin 1993*, (eds. E. Bell e T.P. Cooper), Dublin, pp.19-27.

YOUNG, M.E., JONES, M.S., MacDONALD, J., URQUHART, D.C.M., NICKOLSON, K., McHARDY, W.J., 1996 - "Investigations on the soiling and cleaning of some scottish granites" in *Proceedings of the European Commission Workshop Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments-Santiago de Compostela 1994*, (eds. M.A. Vicente, J. Delgado Rodrigues e J. Acevedo), Protection and Conservation of European Cultural Heritage, Research Report Nº. 5, pp. 429-434.

ZEHNDER, K.; 1979 - "Weathering of molasse sandstones on monuments and natural outcrops" in *Proceedings 3rd International Congress on the Deterioration and Preservation of Stone-Venezia 1979*, pp. 91-105.

ZEHNDER, K., ARNOLD, A., 1984 - "Stone damage due to formate salts" - *Studies in Conservation*, 29, pp. 23-34.

ZEHNDER, K., ARNOLD, A., 1988 - "New experiments on salt crystallization" in *Proceedings of the 6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone-Torun 1988*, pp. 320-329.

ZEHNDER, K., ARNOLD, A., 1989 - "Crystal growth in salt efflorescence" - *Journal of Crystal Growth*, 97, Amsterdam, pp. 513-521.